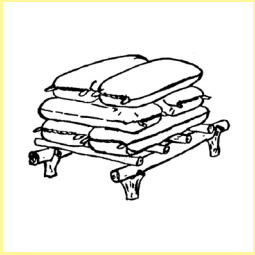
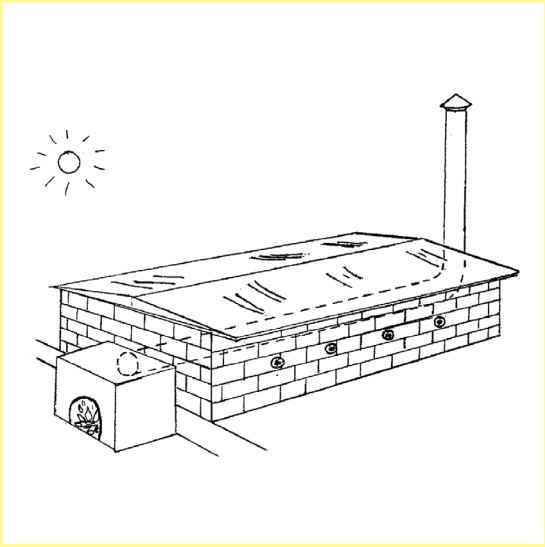
Série-Agrodok No. 31

Le stockage des produits agricoles tropicaux

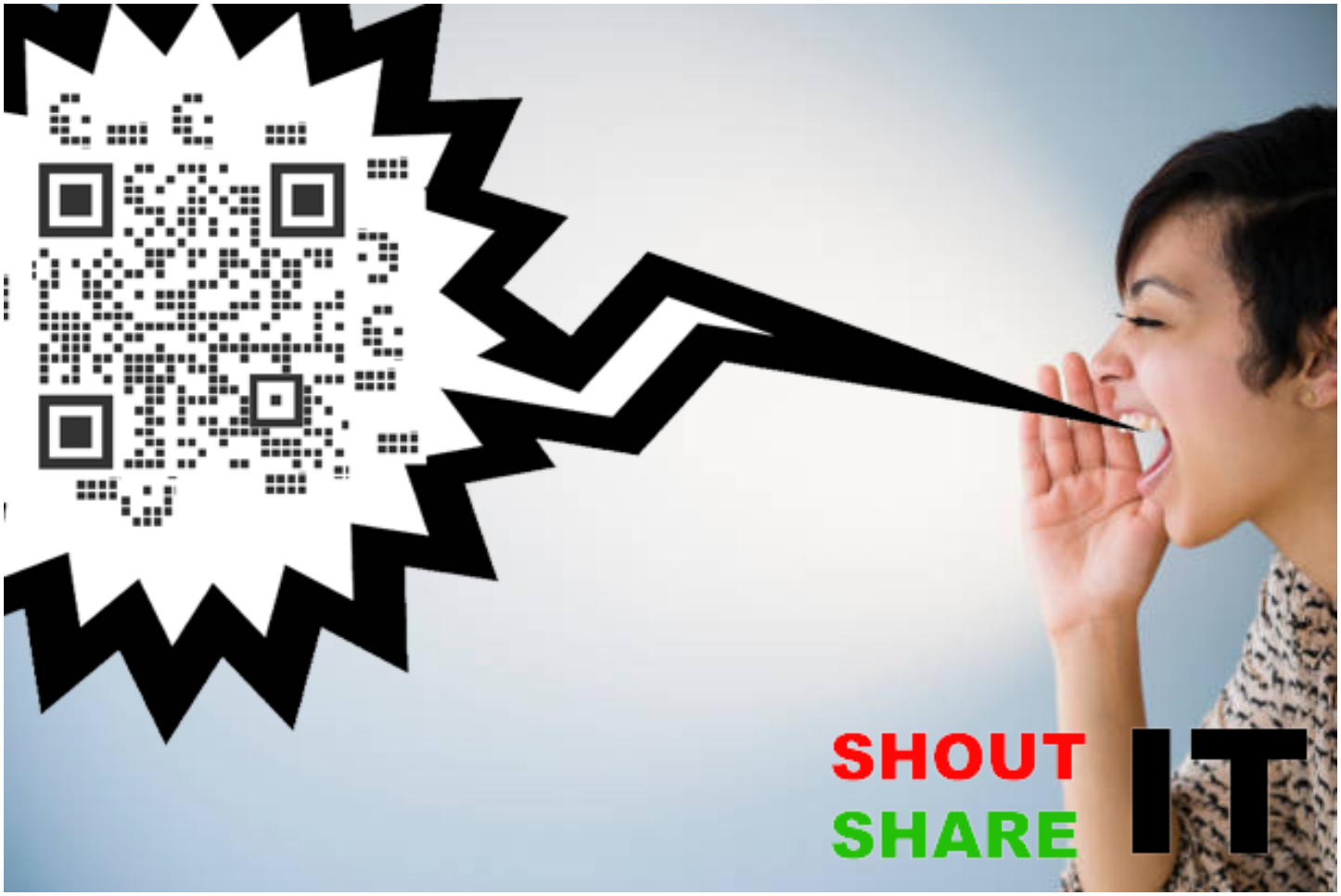


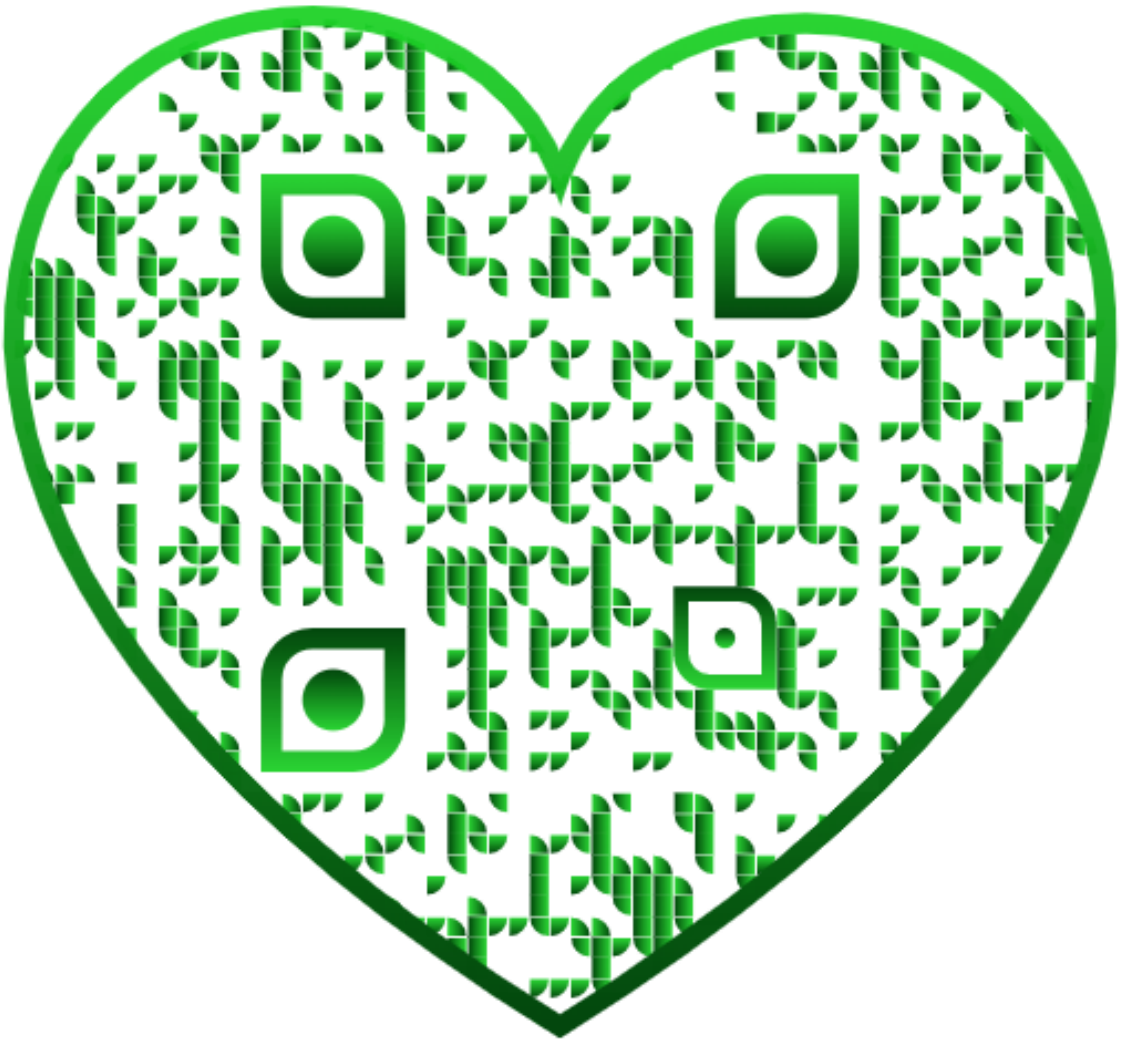


CTA

partageons les connaissances au profit des communautés rurales

sharing knowledge, improving rural livelihoods


SHOUT
SHARE
IT



Agrodok 31

Le stockage des produits agricoles tropicaux

Jelle Hayma

© Fondation Agromisa, Wageningen, 2004.

Tous droits réservés. Aucune reproduction de cet ouvrage, même partielle, quelque soit le procédé, impression, photocopie, microfilm ou autre, n'est autorisée sans la permission écrite de l'éditeur.

Troisième édition : 1996
quatrième édition : 2004

Auteur : Jelle Hayma
Conception : Janneke Reijnders
Traduction : Evelyne Codazzi
Imprimé par : Digigrafi, Wageningen, the Netherlands

ISBN : 90-77073-69-8
NUGI : 835

Avant-propos

Cet agrodok traite des problèmes de stockage des produits agricoles dans les pays tropicaux et subtropicaux. Il étudie plusieurs méthodes de stockage pour différentes sortes de produits, ainsi que les conditions et les problèmes de stockage à long terme.
Ces informations sont destinées à tous ceux qui renseignent sur place les paysans du pays et les petites coopératives sur les diverses possibilités de stockage.
Ce petit livre vise à aider les gens à choisir la meilleure méthode de stockage dans une situation donnée pour un type de produits donné. Afin de ne pas trop compliquer les choses, les modèles de construction très détaillés seront omis ici mais peuvent être obtenus à Agromisa. Il n'est pas nécessaire d'être expert en bâtiment pour être capable de réaliser ces modèles.
Le plus grand silo présenté au chapitre 5 a une contenance de 4,5 tonnes. Les principes du stockage restent identiques pour des quantités plus importantes. Il est néanmoins conseillé de se procurer un appareil permettant de mesurer la teneur en humidité des produits.
Pour donner aux méthodes nouvelles de stockage les meilleures chances de réussite, il est recommandé de commencer par apporter des améliorations techniques aux méthodes locales.
Nous serions heureux d'être mis au courant de vos expériences de stockage de produits agricoles et de vos commentaires et remarques sur ce livre.

Jelle Hayma

Sommaire

1 Introduction 5

2 Influences de l'environnement sur le produit stocké 6
2.1 Pertes au stockage 6
2.2 Teneur en humidité et humidité relative 8
2.3 Température et respiration 11

3 Stockage des differents types de produits agricoles 14
3.1 Céreales et légumineuses alimentaires 14
3.2 Semences 17
3.3 Produits oléagineux 22
3.4 Plantes sarclées 25

4 Sechage 33
4.1 Humidité relative de l'air de séchage 33
4.2 Température de l'air de séchage 33
4.3 Mouvement de l'air de séchage 34
4.4 Méthodes de séchage 35

5 Methodes de stockage 42
5.1 Introduction 42
5.2 Méthodes de stockage 47

Annexe I : Mesures de l'humidite relative et de la teneur en humidite 71

Bibliographie 76

Adresses utiles 78

1 Introduction

Le taux annuel des pertes dues à un mauvais stockage des produits agricoles au niveau de la ferme et du village dans les pays tropicaux est estimé entre 25 et 40%. Dans les champs comme pendant le stockage, les produits sont menacés par les insectes, les rongeurs, les oiseaux et autres parasites. Ils peuvent aussi être contaminés par les moisissures (champignons pathogènes), les levures ou les bactéries. De plus, il faut veiller à maintenir la viabilité (capacité de germination) des semences. Pour réduire les pertes au stockage, il faut connaitre les conditions optimales d'environnement pour le stockage de chaque produit ainsi que les conditions favorables à ses parasites.

Le chapitre 4 traite de l'importance du séchage et des méthodes de séchage du produit avant le stockage.
Le chapitre 5 présente les conditions d'un bon stockage et décrit différentes méthodes à la portée du petit paysan.
Souvent les paysans ont développé eux-mêmes des méthodes de conservation. Certaines de ces méthodes traditionnelles protègent assez bien les produits et ne nécessitent que de légères améliorations. Pourtant elles sont parfois insuffisantes et n'empêchent pas les grosses pertes à cause, par exemple, de l'introduction d'une nouvelle variété exigeant des conditions de stockage et/ou de séchage différentes. De plus, les hausses de production et les changements de marché font croître le besoin de nouvelles méthodes de stockage.

Remarques

1 Nous appelerons "graines" tous les produits en forme de grain, ainsi toutes les graines en général : céréales, haricots, graines oléagineuses.
2 La théorie du stockage des produits agricoles se base surtout sur l'humidité relative de l'air et sur la teneur en humidité des produits. Ces propriétés ne sont malheureusement ni faciles à mesurer ni bon marché. Une brève description des principales méthodes de mesure est ajoutée en annexe.

2 Influences de l'environnement sur le produit stocké

2.1 Pertes au stockage

Les pertes au stockage se produisent de nombreuses façons :

- perte de poids due aux insectes, aux rongeurs et aux oiseaux.
- détériorisation due aux moisissures et à la pourriture.
- baisse de qualité due au grignotage, aux excréments d'insectes et de rongeurs et aux moisissures.
- endommagement des sacs causant des pertes pendant le transport.
- baisse de la capacité de germination des graines stockées (voir chapitre 3).

Les insectes

Ils sont des invertébrés à 6 pattes. Leurs organes internes mous sont protégés par un squelette externe. Le cycle de vie d'un insecte est le suivant : adulte – oeufs – larves – nymphes – adultes. Les adultes et les larves endommagent les produits, les mangent et les salissent. Les produits contaminés deviennent plus vulnérables aux attaques d'autres insectes, de moisissures ou de bactéries. Les insectes peuvent déjà attaquer les produits dans les champs et se multiplier ensuite rapidement pendant le stockage. Les femelles adultes pondent leurs oeufs à la surface d'un graine, entre les graines et parfois même à l'intérieur de la graine. A la sortie de l'oeuf, les larves sont souvent les grands mangeurs de graines. La larve qui grossit à l'intérieur d'une graine en mange le coeur. La nymphe est le stade intermédiaire entre la larve et l'adulte. Pendant cette période de développement, l'insecte n'a pas besoin de nourriture. A la sortie de la nymphe, l'adulte commmence à manger et à pondre ses oeufs.

La plupart des insectes des produits stockés se développent le mieux à des températures de 25 à 30 °C et des humidités relatives de 70 à 80%. A des températures et humidités relatives inférieures ou supérieures, ils continuent à se développer, quoiqu'à un niveau moindre (voir figure 1).

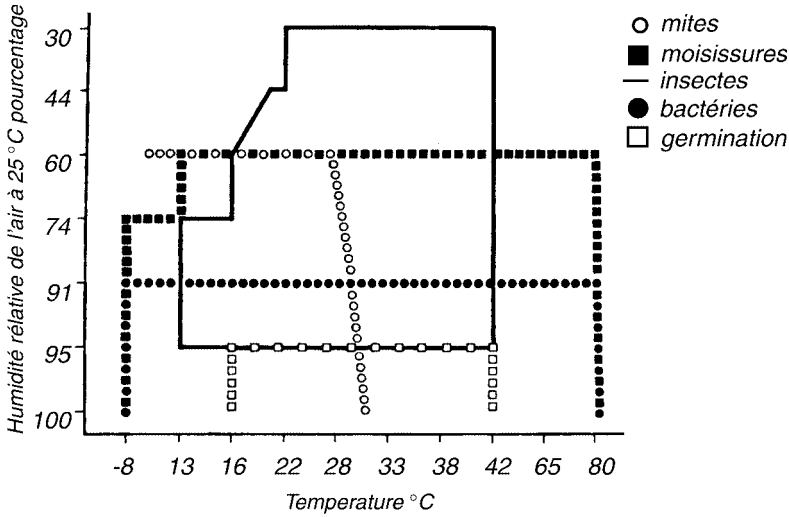


Figure 1 : limites générales de température et d'humidité relative pour la multiplication des insectes, des moisissures et des bactéries et pour la germination des graines

Les moisissures

Elles sont de très petites plantes invisibles à l'oeil nu. Ces moisissures ou leurs spores ("graines") sont presque toujours présentes. Les spores ont besoin d'un milieu chaud et humide pour se développer et produire des filaments appelés hyphae. Les hyphae pénètrent dans le produit et le transforment partiellement en d'autres substances nécessaires à leur croissance. Une masse de hyphae, appelé 'mycélium', est généralement visible à l'oeil nu ou à l'aide d'une loupe.

Les moisissures endommagent le produit de différentes manières :

- Elles fabriquent des produits chimiques, appelés enzymes, qui arrêtent la germination des graines.
- Elles diminuent la qualité des produits par décoloration et changement de goût (mauvaise saveur ou mauvaise odeur) ainsi que leur valeur nutritive.

- Certaines moisissures produisent des substances toxiques pour l'homme et l'animal.

La figure 1 indique les limites de température et d'humidité relative pour le développement des moisissures, des bactéries et des insectes et pour la germination des graines.

Les bactéries sont également invisibles mais se trouvent presque partout, surtout dans les endroits humides. Dans des conditions humides, elles continuent à endommager les produits déjà contaminés, provoquent des changements chimiques et produisent parfois des substances toxiques.

Les rongeurs

Ils (rats et souris) causent des dégâts considérables aux produits dans les champs et pendant le stockage :

- ils mangent une partie du produit.
- ils salissent le produit avec leurs excréments.
- ils endommagent les bâtiments, les conteneurs et les emballages.
- ils transmettent des maladies dangereuses pour l'humain.

2.2 Teneur en humidité et humidité relative

L'activité biologique n'a lieu qu'en présence d'humidité. Par conséquent l'humidité du produit et l'humidité de l'air environnant sont 2 facteurs très importants d'un bon stockage. Chaque produit a sa propre balance (ou équilibre) entre l'humidité qu'il contient et la vapeur d'eau contenue dans l'air environnant.

Cet équilibre est le rapport : teneur en humidité / humidité relative. La figure 2 donne quelques exemples d'équilibres. La **teneur en humidité** d'un produit est généralement exprimée en pourcentage de poids mouillé :

$$\text{Teneur en humidité (\%)} = \frac{\text{poids d'eau dans le produit humide}}{\text{poids du produit humide}} \times 100$$

L'**humidité relative** est une mesure en pourcentage de la quantité d'humidité dans l'air (ou vapeur d'eau) comparée à la quantité maximale d'humidité de l'air possible à cette température. Pour une température donnée :

$$\text{Humidité relative (\%)} = \frac{\text{quantité de vapeur d'eau dans l'air}}{\text{quantité maximale de vapeur d'eau}} \times 100$$

Plus l'air est chaud, plus il peut contenir d'humidité. Par conséquent si la quantité d'humidité dans l'air est constante et si la température monte, l'humidité relative diminue.
La figure 2 indique par exemple que des graines de cacao ayant une teneur en humidité de 8% sont en équilibre avec l'air ayant une humidité relative de 70%. Si par exemple l'humidité relative de l'air tombe à 40%, les graines de cacao perdent de leur humidité jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint : la teneur en humidité des graines tombe alors à 6%.
La teneur en humidité maximale permettant le bon stockage d'un produit, la "**bonne teneur en humidité**", est en général la teneur en humidité d'équilibre correspondant à une humidité relative de 65-70%. Si la teneur en humidité d'un produit est égale ou inférieure à la bonne teneur en humidité, le danger présenté par les bactéries et moisissures est négligeable.

Tableau 1 : Bonne teneur en humidité de différents types de produits

produits	bonne teneur en humidité
céréales	12-14%
haricots, légumineuses	13-15%
graines oléagineuses	6-8%
plantes sarclées et tubercules	non fixe

Le stockage d'un produit tel que les semences nécessite une teneur en humidité moins élevée.
Les céréales séchées à une humidité de 12-14% ne sont pas sujettes aux moisissures mais restent de la bonne nourriture pour les insectes.

Pour ralentir le développement des insectes, la teneur en humidité maximale doit être de 9% (comparer avec les figure 1 et figure 2).

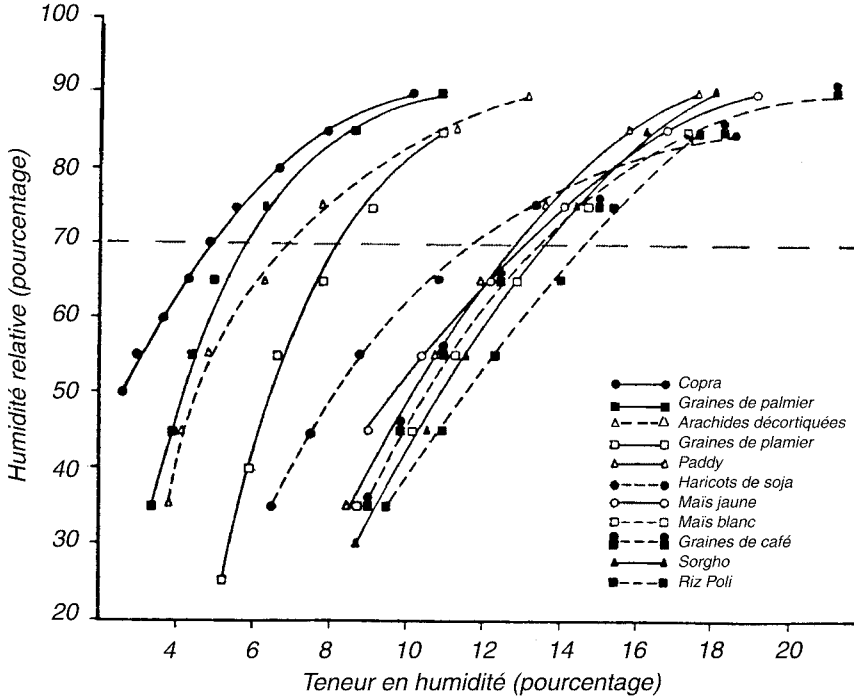


Figure 2 : courbes d'equilibre : teneur en humidité / humidité relative

Pour les plantes sarclées, un niveau général de bonne humidité ne peut être fixé : certaines méthodes de stockage de plantes sarclées et de tubercules exigent que l'humidité relative ne descende jamais en dessous de 80%.

La teneur en humidité ne peut malheureusement se mesurer de façon simple et bon marché. Il existe toutefois des méthodes traditionnelles (tâter, mordre, etc) permettant, avec un peu d'expérience, de juger assez justement de la teneur en humidité d'un produit (voir annexe).

2.3 Température et respiration

Le produit stocké ainsi que les organismes qui l'attaquent sont des êtres vivants qui respirent. Pendant la respiration, il y a utilisation d'oxygène et production de gaz carbonique, d'eau et de chaleur. Le niveau de respiration – et donc les quantités de gaz carbonique, d'eau et de chaleur produites – dépend fortement de la température et de la teneur en humidité du produit. Le niveau de respiration descend environ de la moitié chaque fois que la température baisse de 10 °C.

En fait, la respiration est un processus auto-accélérant. L'humidité produite pendant la respiration augmente la teneur en humidité du produit qui augmente à son tour le niveau de la respiration. Par conséquent, la chaleur produite fait monter la température qui fait monter le niveau de respiration. Les hausses de température et d'humidité créent les conditions favorables au développement des moisissures. Normalement le niveau de respiration de produits bien séchés à une basse teneur en humidité, comme les céréales, les haricots ou les semences, est extrêmement bas et ne provoque aucune hausse spontanée de température. En conséquence si le produit à stocker est refroidi au maximum, la température de stockage n'est plus d'importance primordiale :

- les produits artificiellement séchés sont d'abord mis à refroidir avant le stockage.
- l'entrepôt doit avoir un toit à rebords assez grands pour permettre aux murs d'être toujours à l'ombre.

La figure 3 établit une corrélation entre la température et la teneur en humidité des céréales et indique leur influence sur le développement des insectes et des moisissures et sur la réduction de la viabilité.

En général plus la température est élevée, plus la teneur en humidité doit être basse afin de réduire la détérioration et plus la température est basse plus la teneur en humidité peut être élevée.

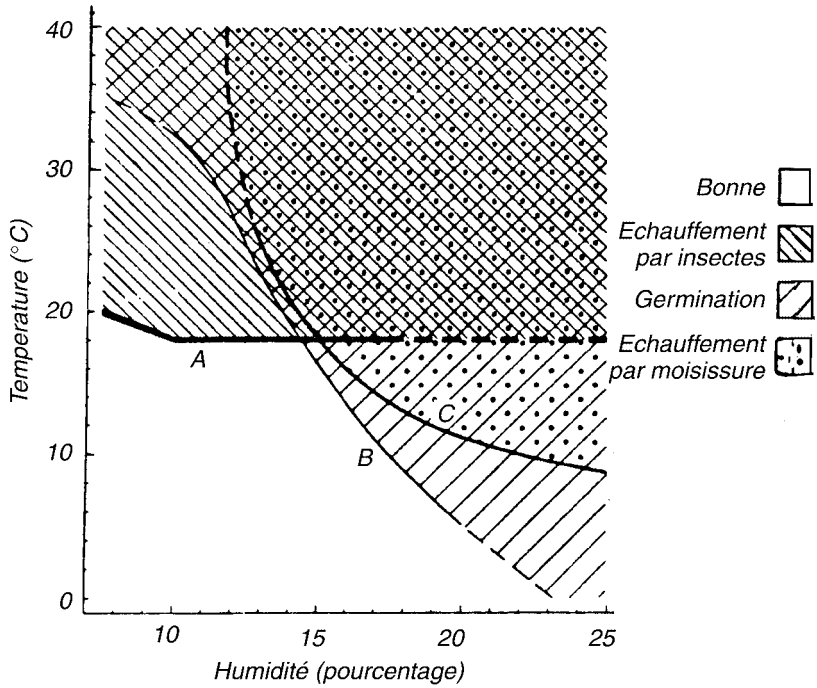


Figure 3 : valeurs de température et de teneur en humidité pour un bon stockage, pour un échauffement causé par insectes et moisissures et pour la germination
A: Limite minimale pour échauffement par insectes
B: Limite minimale pour germination
C: Limite minimale pour échauffement par moisissures

Les différences de température dans un produit stocké doivent être évitées. Des hausses locales de température se produisent parfois en plein milieu d'un produit stocké en gros dans un silo ou par suite de grandes différences de température entre le jour et la nuit, surtout dans les silos en métal.
Ces "points chauds" peuvent également être causés par les insectes. Les conséquences d'un point chaud sont indiquées dans la figure 4. Si le produit est uniformément sec au moment du stockage et s'il reste

sec à une température constante, les dégâts dus à la condensation et au passage de l'humidité seront minimes.

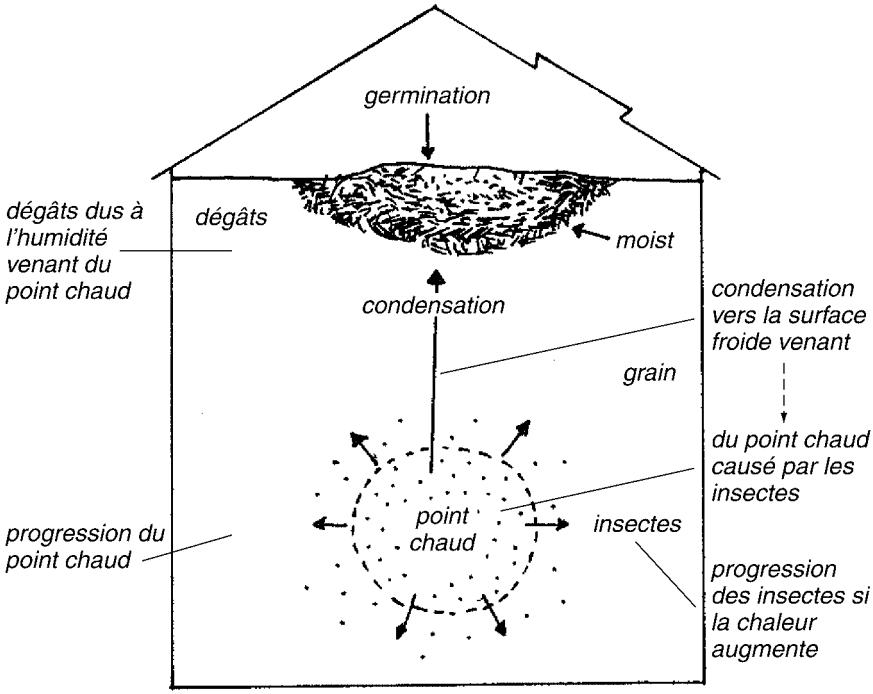


Figure 4 : conséquences d'un "point chaud" causé par les insectes : propagation des insectes et condensation de vapeur d'eau avec développement de moisissures et germination.

Les produits à haute teneur en humidité (plantes sarclées) ont un niveau de respiration assez élevé. Des températures élevées pendant le stockage limitent donc la durée du stockage.
Chaque degré de température en moins signifie une prolongation de la période de stockage.

3 Stockage des differents types de produits agricoles

3.1 Céreales et légumineuses alimentaires

Conditions de stockage

Les céréales et les légumineuses séchées à des teneurs en humidité inférieures au bon niveau de humidité peuvent être stockées pour des périodes d'un an ou plus sous de grandes variations de température à condition que le niveau d'humidité ne monte pas pendant le stockage et que des précautions soient prises contre les insectes. Les insectes continuent à se développer à une humidité relative de 35% et à des températures de 15 °C.

Tableau 2 : La teneur en humidité d'un produit varie légèrement selon sa variété

produits		bonne teneur en humidité (%)
céréales	maïs (battu) jaune	13,0
	maïs (battu) blanc	13,5
	farine de maïs	11,5
	paddy	14,0
	riz non décortiqué (riz brun)	12,0
	sorgho	13,5
	millet	15,0
	blé	13,5
	farine de blé	12,0
légumineuses	haricots blancs et rouges, fèves, niébé	15,0
	lentilles, pois	14,0

Les bonnes teneurs en humidité citées ici sont valables pour des températures allant environ jusqu'à 27 °C. Des températures plus élevées exigent des teneurs en humidité maximales plus basses.

Séchage

En général, les produits sont le plus possible séchés dans les champs. Les céréales coupées et liées en gerbes sont étendues ou suspendues sur diverses sortes de râteliers ou mises en meules. Après la récolte, les légumineuses sont souvent laissées à terre jusqu'à ce que les feuilles meurent. Ensuite elles sont séchées, toujours avec leur feuillage, sur des plates formes ou râteliers bien aérés.
Pendant cette période de séchage qui précédant le stockage et parfois même avant la récolte, les produits sont facilement attaqués par les insectes du stockage. Quand le produit a atteint sa bonne teneur en humidité, il peut être stocké définitivement. Il peut d'abord être battu car un produit battu prend moins de place.

Le produit encore humide peut être stocké à condition qu'il puisse continuer à sécher pendant le stockage, ce qui exige une très bonne aération. Dans ce cas, il faut stocker le produit non battu. Le maïs se conserve bien dans les cabanes à maïs; le millet, le sorgho, le riz et les légumineuses dans des paniers.
Avantage : le battage peut être remis à plus tard, jusqu'au moment où on aura plus de temps.
Inconvénients : on a besoin de plus d'espace de stockage. Les cabanes et les paniers protègent mal le produit contre les insectes. Le produit ayant atteint son bon niveau d'humidité peut alors être battu : le stockage en sera moins volumineux et plus sûr.
Les céréales et les légumineuses battues peuvent au besoin continuer à sécher au soleil sur l'aire, sur des nattes ou sur des toiles, ou encore artificiellement (voir aussi chapitre 4).

Méthodes de stockage

Deux facteurs déterminent le choix de la meilleure méthode de stockage :

- la teneur en humidité du produit à son arrivée des champs.
- l'humidité relative de l'air extérieur pendant la période de stockage.

Selon les conditions atmosphériques de la période de récolte et selon la durée du stockage, quatre possibilités se présentent :

Période de récolte sèche et période de stockage sèche
Si les conditions générales sont bien remplies, le stockage ne pose pas de problèmes. Toutes les méthodes présentées (1 à 11) dans le chapitre 5 sont satisfaisantes.

Période de récolte sèche et période de stockage humide
Le produit sec absorbe l'humidité de l'air pendant le stockage, sauf si le stockage est étanche à l'air et à l'eau, ce qui le rend plus coûteux. Selon la durée du stockage, les matériaux disponibles et l'usage auquel ils sont destinés, les produits battus peuvent être stockés de différentes façons :

1 en petites quantités :
   - dans des gourdes étanches à l'air (méthode 1)
   - dans des sacs en plastique (méthode 5)
   - dans des bidons en métal bien fermés (méthode 8)
2 pour l'usage quotidien :
   - dans un silo en blocs de boue amélioré (méthode 6, figure 23) rend étanche à l'air et à l'eau.
   - dans un coffre pusa (méthode 7) : silo fait d'argile, de feuilles de plastique et de bandes métalliques avec ouverture d'écoulement.
3 pour un usage occasionnel :
   - dans des silos étanches à l'air et à l'eau (méthodes 7 à 10).
4 pour un stockage de (très) longue durée :
   - dans un puits souterrain (méthode 11) rendu étanche à l'air et à l'eau.

Période de récolte humide et période de stockage sèche
Le produit humide doit sécher pendant le stockage. Il faut donc l'aérer au maximum et ne pas trop le serrer :

- en fines couches
- non battu dans une structure aérée, en paniers (méthode 2)
- dans une cabane à maïs (méthode 3)
- dans des sacs en jute (méthode 4)
- dans des silos étanches (méthodes 6 à 11), à condition qu'il ait été séché et battu auparavent.

Période de récolte humide et période de stockage humide
Le produit doit être séché artificiellement. Ensuite, la plupart du temps aprés battage, il doit être stocké de façon étanche à l'air et à l'eau (voir aussi point 2 et voir chapitre 5).

Remarques
Si les enveloppes et les cosses sont restées intactes, elles offrent une certaine protection contre les attaques des insectes (maïs, paddy, haricots). Si les enveloppes de riz n'ont pas été abîmées pendant la récolte et le séchage, (elles peuvent se fendiller, par exemple) le riz peut être stocké comme le paddy.
Les variétés traditionnelles de maïs ont souvent des enveloppes qui recouvrent totalement l'épi. Restées intactes, ces enveloppes offrent une bonne protection contre les insectes. Malheureusement ce n'est pas toujours le cas des variétés améliorées. Pour un stockage prolongé, il faut sélectionner les épis dont les enveloppes sont restées intactes. La teneur en humidité des graines à l'intérieur de l'épi dénudé ne doit pas être trop élevée à leur arrivée des champs (pas plus de 26%) car les épis moisiraient rapidement : l'enveloppe offre les conditions favorables pour le développement des moisissures.
Le stockage prolongé des haricots dans des conditions très sèches les rend trop durs et difficiles à cuire. Néanmoins ce risque doit être préféré au risque de moisissures.

3.2 Semences

Conditions de stockage

Le stockage de semences exige principalement la préservation de leur viabilité (capacité de germination). Dans ce but, la graine doit être stockée dans certaines limites de température et d'humidité. Ces limites varient selon l'espèce et la variété.
En général on peut dire que :

- pour les graines ayant une teneur en humidité entre 5 et 14%, chaque baisse de 1% de la teneur en humidité double la durée possible du stockage. En dessous de 5%, les processus d'oxydation jouent un

rôle. Au-dessus de 14%, le développement des moisissures cause une dégénération rapide de la graine.

- chaque baisse de température de 5 °C double la durée possible du stockage. La période de récolte est très importante pour la conservation prolongée de la viabilité de la graine. La graine non mûre perd plus vite sa viabilité que la graine bien mûre.

Avant les semailles, la capacité de germination de la semence doit être testée sur, par exemple, une centaine de graines.

Endommagement de la semence

L'endommagement de la semence est causé par différents facteurs :

par les machines :

Ceci dépend des méthodes de récolte et de battage utilisées. Les moissonneuses et les batteuses (tournant vite), les fléaux et les animaux utilisés pour le battage augmentent les risques de casser les graines.
La teneur en humidité de la graine joue également un rôle : par exemple, les graines sèches ayant une teneur en humidité de 8% cassent plus facilement que les graines ayant une teneur en humidité de 14%. Plus il y a de graines cassées, plus le risque d'infection par insectes et moisissures augmente et plus la capacité de germination diminue.

par les moisissures :

Cela tient à la température et à l'humidité de la graine stockée et de l'environnement. Les moisissures apparaissent à une teneur en humidité supérieure à 7-9% et elles provoquent un échauffement à une teneur supérieure à 18-20%. La germination a lieu au delà de 40-60%.
La plupart des graines conservent leur viabilité si leur teneur en humidité reste inférieure à 7-9%. Exception faite des graines de café, de cacao, de palme à huile et d'agrumes qui, elles, doivent être stockées dans des conditions humides.
Si la température est trop élevée, la viabilité des graines baisse aussi. Par exemple, un séchage artificiel de quelques heures avec de l'air chaud à 50 °C et à une teneur en humidité de 20% réduit fortement la

viabilité de différents types de graines (voir ci-dessous "séchage" de la semence).

par les insectes :

- ils endommagent le germe (embryon) de la graine.
- ils mangent d'autres parties de la graine, ce qui réduit aussi sa viabilité.
- ils salissent les graines, ce qui exige le nettoyage et donc une perte de graines.
- ils font monter la température et l'humidité provoquant ailleurs une condensation qui accroît le développement de la moisissure (voir aussi figure 4).

Séchage de la semence

Des températures de séchage trop élevées cassent les noyaux de certaines graines et tuent l'embryon de la graine. Le séchage des semences se fait donc à une température maximale de 35 °C. Seules les céréales peuvent supporter 40-45 °C. C'est pourquoi il ne faut pas sécher la semence en plein soleil mais à l'ombre. La graine très humide supporte une température moins élevée que la graine sèche. L'effectivité du séchage dépend de l'humidité de l'air et de la vitesse du vent à l'endroit concerné.

Les graines séchées à l'air à la saison des pluies contiennent encore 13% d'humidité alors que les limites de sécurité pour les semences sont :

céréales (riz, maïs, sorgho, etc.)	10%
légumineuses	8%
graines de légumes	6%

Le séchage artificiel est donc conseillé dans les régions où l'air a une humidité relative élevée. Il peut se faire de différentes façons :

- par la chaleur artificielle d'une lampe, d'un moteur en marche ou d'un four (pas trop chaud).
- avec des matériaux absorbants l'eau comme le silicagel, la chaux vive, la cendre de bois ou de paille, l'argile (séchée dans un four)

etc. L'un de ces matériaux est mélangé aux graines séchées à l'air qui sont emballées ensuite de façon étanche à l'air (voir page 15 : Stockage étanche à l'air).

Les graines peuvent aussi se conserver sèches avec du riz grillé : le riz est grillé à la poële jusqu'à ce qu'il prenne une couleur brun clair. Le riz grillé a une propriété siccative : il absorbe l'eau du produit avec lequel il est mélangé.

Désinfectants des graines

Les fungicides
Produits chimiques tuant les moisissures. Comme les composés du mercure et les dithiocarbamates, n'abîment pas les graines.

Les insecticides
Produits chimiques tuant les insectes sont en général plus dangereux. La **lindane** surtout peut attaquer la viabilité de la graine. Le stockage des graines traitées exige une bonne teneur en humidité avant le traitement car les insecticides en poudre absorbent l'humidité.

Les fumigants
Produits chimiques sous forme gazeuse tuant les insectes. Le **méthylbromide** et l'**éthylènedibromide** par exemple, sont dangereux pour la viabilité de la graine, spécialement si la teneur en humidité de la graine est élevée. Mais la phostoxine n'est pas dangereuse pour la semence. De plus, elle est facile à utiliser sous forme de comprimés. Comme les fumigants sont très toxiques pour l'humain et l'animal, ils ne doivent être manipulés que par des spécialistes.

Si l'on tient absolument à les utiliser, il faut essayer le produit choisi sur quelques graines et tester la viabilité des graines après le traitement.
Les graines contenant beaucoup d'huile requièrent une aération juste après l'engazement.

Les semences traitées doivent être tenues à l'écart des graines réservées à la consommation!

Méthodes de stockage des sémences

Les graines doivent en général être aussi sèches et froides que possible avant d'être stockées. Plus elles sont sèches, plus la température perd de l'importance.

Stockage à froid :

En dessous de 10 °C, on peut stocker des graines ayant une teneur en humidité (légèrement) supérieure à la limite citée ci dessus (voir figure 2 et figure 3). Mais il faut pour cela un réfrigérateur et la méthode n'est donc valable que pour les petites quantités, par exemple pour les graines de légumes.

Stockage étanche à l'air (température ambiante) :

Les graines doivent être très bien séchées et, si possible, mélangées à matériaux absorbant l'humidité et/ou à des produits chimiques spéciaux qui protègent la graine. Alors la semence peut être stockée dans l'un des conteneurs suivants :

- des sacs de polyéthylène, plus épais que 0,25 mm, fermés à la chaleur (avec un fer à repasser et un journal, par exemple).
- des gourdes ou des pots en terre rendus étanches à l'air avec de la peinture, du vernis ou de l'huile de lin. Ils sont scellés à la cire.
- des pots de confiture en verre avec de bons couvercles à pas de vis.
- des boîtes étanches à l'air ou scellées à la cire de bougie, par exemple).
- des sacs en papier doublés d'une feuille d'aluminium.
- des bidons à huile avec bouchon à pas de vis.

Pour le stockage de la semence, voir aussi le chapitre 5 et les méthodes de stockage 1, 5, 7 et 8.

3.3 Produits oléagineux

Arachides, graines de soja, sésame, graines de coton, graines de palme, copra.

Les produits oléagineux sont utilisés pour la consommation directe (arachides, graines de soja, sésame, noix de coco) et pour l'extraction de leur huile. Le restant (le gâteau) est souvent donné en nourriture au bétail.
La qualité de l'huile dépend en majeure partie de son contenu en acide gras libre, produit qui a une influence négative sur l'odeur et le goût de l'huile. Ceci est très important quand l'huile est consommée sur place. Le processus qui libère ces acides gras libres (lipolyse) s'accélère quand la température et l'humidité augmentent. Les enzymes qui jouent un rôle dans ce processus sont naturellement présentes dans ces produits mais se développent particulièrement bien si les produits sont touchés par les insectes et les moisissures ou abîmés par les machines. Outre leur mauvaise influence sur l'apparence et le goût des produits séchés et de l'huile pressée, les moisissures produisent également des substances toxiques comme, par exemple, l'alfatoxine des arachides. Le développement des moisissures sur les produits à huile se fait à une teneur en humidité supérieure à 7-8%.

Tableau 3 : Contenu d'humidité sûr des produits à huile

produits	bonne teneur en humidité
arachides (décortiquées)	7%
copra	7%
graines de palme	5%
graines de coton	10%
haricots de soja	13%

Séchage

Les arachides, les graines de soja et de sésame sont d'abord séchées dans les champs avec leurs feuillage. Elles sont ensuite battues ou cueillies à la main. Une teneur en humidité de 15% semble optimale pour la cueillette à la main, le battage au fléau et l'effeuillage avec des machines simples. Cependant ces machines augmentent le pourcetage

d'arachides cassées, ce qui favorise l'infection par les insectes et les moisissures. Le battage mécanique peut se faire à une teneur en humidité plus élevee:- cela limite les degats. Les produits cueillis ou battus sont mis à sécher sur des nattes ou sur des toiles (voir figure 5 et figure 6). Les produits conservés dans des sacs en jute continuent à sécher, à condition que les piles ne soient pas trop serrées. A la saison des pluies, il faut pratiquer un séchage d'appoint artificiel.

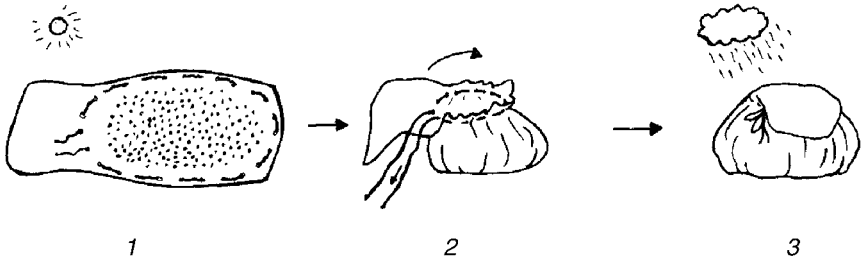


Figure 5 : rond de plastique ou de toile se fermant avec un cordon et muni d'un rabat.

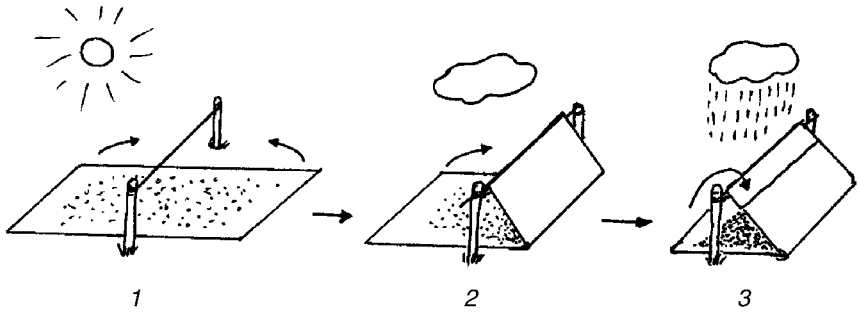


Figure 6 : carré de plastique ou de toile se repliant par-dessus une corde (en cas de pluie).

Le stockage de produits trop humides facilite la formation de chaleur interne. Les graines de palmier sont très difficiles à conserver sans perte de qualité et doivent être très bien séchées.

Pour le stockage de longue durée des noix de coco, faire sécher la chair de la noix jusqu'à ce que sa teneur en humidité originelle de 50% tombe à 6%.
Les noix sont coupées en deux et séchées soit au soleil, soit artificiellement, soit par une combinaison des deux. Le séchage au soleil exige de 60 à 80 heures de soleil. Après plus de dix jours, les noix commencent à s'abîmer. Les couvrir pendant la nuit contre la formation de rosée et pendant les pluies ou bien stocker les râteliers de séchage sous un toit. Après environ 2 jours, retirer la chair de la coquille et attendre encore 3 à 5 jours pour un séchage complet. Le séchage artificiel se fait à l'air chaud, mais la température ne doit pas dépasser 77 °C, sauf au début; elle est ensuite réduite à 65 °C maximum. La fumée détériore la qualité du produit.
Mettre à sécher au soleil les noix de coco coupées en deux pendant 1 ou 2 jours avant de commencer le séchage artificiel.
Estimation de la teneur en humidité de la chair séchée (= copra) :
0-7% : friable, casse facilement, coupée en fines tranches brûle avec une flamme claire et régulière.
7-10% : la flamme crépite.
>10% : ne brûle pas.

Méthodes de stockage

Les méthodes 1, 2 et 4 permettent le stockage des produits oléagineux. Les méthodes étanches à l'air exigent un produit très bien séché avant le stockage. Sous les tropiques humides, si le stockage étanche à l'air est impossible, il faut utiliser les méthodes permettant l'aération (méthodes 2 et 4).

Les arachides :

- doivent être autant que possible conservées dans leur cosse qui les protège contre insectes et moisissures.

Décortiquées, elles perdent vite en qualité et en viabilité

- Des sacs en jute grossièrement tissé (méthode 4) permettent une bonne aération mais protègent moins contre les insectes.
- Le stockage dans de grands paniers est satisfaisant.

3.4 Plantes sarclées

Igname, eddo (= taro, tannia), patate douce, pomme de terre, manioc.

Conditions de stockage

Les tubercules à racine ou à tige, ont des exigences de stockage particulières à cause de leur teneur en humidité élevée (60 à 80% quand ils sont frais). Il faut éviter d'une part la dessiccation et d'autre part la pourriture causée par une humidité trop élevée autour des tubercules. Les tubercules vivants continuent à respirer assez intensivement et cette respiration augmente avec la température. Si les tubercules sont stockés à une température élevée et selon une méthode étanche à l'air, le manque d'oxygène fait p. ex. noircir le coeur des pommes de terre. Plus la température du produit est élevée, plus l'aération est nécessaire. Les changements chimiques ayant lieu dans les tubercules pendant le stockage influencent leur fermeté et leur goût. Les tubercules connaissent une certaine période de dormance, après laquelle ils commencent à germer. Cette période varie avec le produit et sa variété et avec la température du stockage. Les ignames se conservent pendant 4 mois environ à une température normale sans germer, mais les pommes de terre commencent déjà à germer un peu après 5 semaines à 15 °C.
Sans réfrigération, la qualité de conservation des tubercules diminue dans cet ordre : igname, eddo, patate douce, manioc. Il existe aussi plusieurs variétés de chaque plante sarclée. Certaines se conservent mieux que d'autres.

Récolte

Le pourrissement commence toujours aux endroits abîmés pendant la récolte et le transport. L'arrachage devrait donc se faire aussi soigneusement que possible et de préférence avec des outils en bois. Lorsque la plante sarclée est plantée en lignes et en billons, les tubercules peuvent être arrachés s'ils ne sont pas trop écartés les uns des autres. L'outil à arrachage doit pouvoir passer facilement en-dessous. Les gros tubercules sont souvent endommagés à plus de 50%, les petits à environ 5% seulement. Les tubercules endommagés doivent être consommés tout de suite ou subir un traitement spécial. Le frottage des endroits abîmés avec de la cendre de bois tamisée, de la chaux ou de la

noix de cola mâchée et un séchage au soleil de 1 ou 2 jours guérissent les blessures et diminuent considérablement le risque de pourrissement.

Subérification

La préparation des tubercules pour le stockage exige un traitement spécial appelé subérification. Les tubercules sont stockés pendant 2 ou 3 jours à une très forte chaleur (25-35 °C) et à un niveau très haut d'humidité relative (90-95%). Pendant ce temps, on entoure les tubercules d'une couche de liège de l'épaisseur de quelques cellules. Cette couche réduit bien le desséchement et empêche aussi l'infection par moisissures et bactéries. Bien que ce processus de subérification soit plus rapide en plein soleil, il faut protéger les tubercules contre le soleil à l'aide de grandes feuilles, car autrement l'humidité relative (autour des tubercules) baisserait trop vite et le fort échauffement des tubercules provoquerait des processus réduisant leur qualité de conservation.

Méthodes de stockage

Plus la température est basse, plus les risques de desséchement et de pourrissement, de manque d'oxygène et de germination sont réduits. Autrement dit, l'application de températures basses pendant le stockage est la méthode qui s'impose. Néanmoins, cela pose beaucoup de problèmes pratiques car la réfrigération artificielle est très coûteuse. Il reste alors à tenir l'entrepôt aussi froid et aéré que possible. Si par exemple l'aération peut se régler avec un ventilateur ou avec des valves de aération ajustables, l'entrepôt sera aéré pendant la période la plus froide (la nuit) et isolé pendant la période la plus chaude pour conserver l'air froid. Cela exige des entrepôts aux murs épais. Lorsque l'aération est naturelle, comme par exemple dans les huttes, on ne peut presque rien régler, et les murs épais sont peu utiles.

Plus les circonstances climatiques (saison, altitude) sont froides, moins la aération est nécessaire mais plus grands sont les risques de pourrissement et d'échauffement interne.

Les patates douces, les ignames et le manioc ne doivent pas être trop refroidis (pas en-dessous de 12 °C).

Pendant la saison sèche, les ignames, les patates douces et le manioc peuvent rester en terre sans être arrachés. Leur qualité reste correcte bien que souvent les tubercules deviennent fibreux. Cette méthode semble plus intéressante, mais présente pourtant plusieurs inconvénients :

- le champ est occupé plus longtemps, empêchant d'autres cultures pendant cette période.
- les tubercules ne sont pas arrachés au meilleur moment.
- les tubercules ne sont pas protégés contre les termites, les rats, les singes, les voleurs, etc.

Les deux méthodes de stockage les plus communes sont traitées dans le chapitre 5 en silo fosse (méthode 12) et en hutte (méthode 13).

Manioc

Subérification :
Température de séchage : 30 à 35 °C, humidité relative : 80 à 95%, 4 à 7 jours. Les blessures doivent être soignées et mises à sécher.

Stockage :
Les tubercules fraîchement arrachés s'abîment facilement : la détérioration commence 1 à 7 jours après la récolte.
Des techniques simples comme la remise en terre, la mise sous l'eau, l'enduit de boue ou la mise en tas avec arrosage quotidien suffisent à conserver les tubercules pendant quelques jours. En général, ils sont 'conservés' dans la terre et arrachés selon le besoin. L'élagage avant l'arrachage permet une prolongation considérable de la vie des tubercules sous terre : 1 à 4 semaines avant la récolte, on enlève toutes les feuilles en laissant dans la terre environ 20 cm de tige. Si à la récolte un morceau de la tige est resté attaché au tubercule, les risques de pourrissement sont moindres.

Méthodes :

- en silo fosse dans les champs (méthode 12). Un stockage en couches alternées avec des couches de sable donne également de bons résultats (Colombie).
- en hutte (méthode 13).
  Les tubercules fraîchement arrachés sont emballés dans de la sciure humide et mis dans des caisses en bois. Si on n'a pas de sciure, utiliser alors de la poudre de fibre de coco ou de la tourbe. Les enveloppes de riz ne conviennent pas. La teneur en humidité de la sciure d'emballage doit être environ de 50%. Cela permet le maintien d'une humidité relative élevée favorisant la subérification et évitant des pertes excessives d'humidité sans mouiller les racines qui commenceraient à pourrir. Les tubercules gardent une bonne qualité après un stockage de 1 à 2 mois. De récentes expériences ont montré que les feuilles de manioc sont un meilleur moyen de conservation que la sciure humide : alterner des couches de tubercules avec des feuilles de manioc (de 3 à 5 cm d'épaisseur) dans des caisses en bois, des paniers en bambou ou des silos. Rappelons que les meilleurs résultats sont toujours obtenus avec des tubercules non, ou très peu, abîmés et soigneusement manipulés. Un délai entre la récolte et l'emballage provoque plus de perte. Les caisses doivent être placées dans une hutte bien aérée.
- dans les champs
  Mis à part les inconvénients cités plus haut, il faut noter les choses suivantes : les variétés de saison courte mûrissant dans les 6 mois après la plantation ne peuvent rester en terre plus de 9 à 11 mois sans risque de grave détérioration. Les variétés de saison longue prenant au moins un an pour mûrir peuvent parfois rester en terre pendant 3 à 4 ans sans s'abimer beaucoup. Le manioc du premier groupe est souvent doux alors que celui du second groupe a tendance à devenir amer et attire moins, par exemple, les porcs sauvages et les babouins.
- Les tubercules fraîchement récoltés peuvent être traités et transformés en divers produits séchés ayant une vie de stockage plus longue. Les tubercules coupés en tranches et séchés au soleil avec ou

sans pré cuisson (la pré-cuisson prolonge la qualité de conservation) peuvent être stockés pendant plusieurs mois.

Ignames

Subérification :
Température de séchage : 29 à 32 °C, humidité relative : 90 à 95%, 4 jours. La guérison n'est satisfaisante que pour les blessures profondes comme les coupures. Les tubercules abîmés (avec blessures superficielles) ne peuvent pas être subérifiés. Ils ne se conservent que si les parties éraflées ont été retirées avant la subérification.

Stockage :
La production d'ignames, contrairement à de celle du manioc, est très saisonnière et par conséquent les tubercules doivent être stockés pendant plusieurs mois. La fin de la période de dormance (début de la germination) est le moment crucial d'un stockage à long terme. L'enlèvement des germes prolonge la vie de stockage.
Conditions de stockage des tubercules séchés : température d'environ 16 °C et humidité relative de 70%. Au-dessus de 16 °C, les tubercules peuvent être stockés pendant 3 à 4 mois. Les tubercules non séchés doivent être stockés à des humidités relativement basses. En-dessous de 12 °C, le froid fait des dégâts.

Méthodes :
- Pendant les saisons sèches, les ignames pourraient rester en terre sans être arrachées sans perte notable de qualité mais elles sont, pour différentes raisons, arrachées normalement avant d'être stockées.
- "grange" à ignames.
  Modèle de base : chassis vertical de 2 m de haut ou plus, sur lequel les tubercules d'ignames sont attachés une à une avec une corde le long d'une membrure transversale ou d'une poutre légère. Les ignames peuvent également être attachées à des poteaux verticaux de façon que l'axe des tubercules se trouve placé horizontalement.

La grange peut être munie d'un toit de chaume (de palme) ou construite sous l'ombre épaisse des arbres dans la forêt. Ces constructions offrent une bonne aération et une bonne protection contre les termites, mais non contre les voleurs. Elles permettent aussi un contrôle quotidien des tubercules permettant de retirer ceux qui pourrissent avant qu'ils ne contaminent les autres. Dès le début de la saison des pluies, les tubercules stockés dans la grange à ignames se détériorent rapidement.

- huttes (méthode 13).
  Après subérification, les tubercules sont stockés en tas sur le sol, dans des caisses, sur des étagères ou sur des râteliers de façon à ce que l'air (le vent) puisse passer partout. Plus la température et l'humidité relative sont élevées, plus l'aération est nécessaire. La cabane à maïs peut aussi être utilisée pour le stockage, à condition que son toit soit assez large pour éviter les rayons du soleil.
- silos en argile (méthode 6).
  Ils conviennent aux petites quantités de tubercules bien séchés. Trés souvent, les ignames sont également stockées dans des puits ou mises en tas à l'abri du soleil et des inondations.

Patate douce

Subérification :
Température de séchage : environ 30 °C, humidité relative : 85 à 90%, 7 jours.
Les tubercules peuvent rester dans les champs en petits tas. Il faut les couvrir la nuit avec de la paille ou avec des sacs en jute si la température descend en-dessous de 25 °C.

Stockage :
Sous les tropiques, la patate douce a un bas potentiel de stockage. Conditions optimales de stockage après préparation : 13 à 16 °C et une humidité relative élevée (85 à 90%).
Des températures supérieures facilitent la germination et augmentent la respiration provoquant un échauffement du produit et une perte en matière sèche. L'aération pendant le stockage est très importante. Le

tubercule est très sensible aux endommagements et à la détérioration ultérieure. Les variétés rouges semblent mieux se conserver que les variétés blanches. Pour éviter les pertes de tubercules frais pendant le stockage, on peut appliquer le processus suivant : peler les tubercules, les couper en tranches et les sécher au soleil pour en faire des chips qui peuvent être stockées directement ou moulues en farine.

Méthodes :

- silos (méthode 12).
- puits (méthode 11).
  Les puits sont garnis de paille ou de bambou et couverts d'un couvercle (en bois) hermétique et d'un toit le protégeant de la pluie. Uniquement dans les zones de bon drainage.
- huttes (méthode 13).
  Les tubercules subérifiés se conservent emballés dans du papier de journal ou dans de la sciure sèche (sèche pour minimiser la repousse et le pourrissement). Ils peuvent aussi être stockés dans des caisses garnies de plastique. Des trous dans le plastique permettent la respiration. Pendant la première semaine, la subérification peut se faire à la température ambiante (18 à 31 °C). Après la subérification, l'excès d'humidité doit être retiré pour éviter la germination.

Pomme de terre

Subérification :

Température de séchage : 8 à 20 °C, humidité relative : environ 90%, 5 à 8 jours.
Eviter la condensation de l'eau sur les tubercules.

Stockage :

Les températures optimales de stockage sont inférieures à 10 °C. Les pommes de terre sont un produit sensible quant à leur besoin en oxygène, aux endommagements, aux infections par moisissures, etc. Les pommes de terre ne doivent pas être exposées au soleil trop longtemps (1 heure au maximum). Elles doivent être conservées à l'obscurité dans un endroit sec et bien aéré. Dans certaines conditions climatiques

tropicales, les pommes de terre peuvent rester plus longtemps en terre avant d'être arrachées que dans des conditions tempérées.

Méthodes :

- silos ou (partiellement) puits souterrains.
  Comme la respiration est encore très intensive au début, une dernière couche de sable est parfois jetée sur la paille une semaine après.
- huttes (méthode 13).
  Les dépôts sont aérés pendant la nuit quand la température est basse. Ils sont parfois partiellement construits sous terre, avec des conduits d'aération permettant à l'air frais de la nuit de passer sous les tubercules.
  Stockage en gros ou de préférence en petites caisses.

4 Sechage

4.1 Humidité relative de l'air de séchage

On a vu dans le chapitre 2 qu'après quelques temps, la teneur en humidité d'un produit est en équilibre avec la teneur en humidité (humidité relative) de l'air environnant. En général, un produit se conserve bien en-dessous ou à la teneur en humidité d'équilibre correspondant à une humidité relative maximale de 70%. Pour les semences, la **limite maximale** est 40%; pour les tubercules la **limite minimale** est 80%. Un produit perd son eau (= sèche) lorsque l'humidité relative de l'air environnant est inférieure à l'humidité relative d'équilibre correspondant à la teneur en humidité du produit. Plus la différence entre ces deux humidités relatives est grande, plus le processus de séchage est rapide. La figure 2 indique par exemple que du paddy ayant une teneur en humidité de 16% est en équilibre avec un air d'une humidité relative de 84%. Pour le séchage du paddy, l'humidité relative de l'air doit être inférieure à 84%. De plus pour le séchage d'un paddy ayant une bonne teneur en humidité de 13% ou en dessous, l'humidité relative de l'air doit être inférieure à 70% (voir figure 2).

4.2 Température de l'air de séchage

Plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur d'eau, et cela résulte en une diminution de son humidité relative : une hausse de température de 1 °C fait baisser l'humidité relative de l'air chaud de 4% environ. Par conséquent, un produit sèche mieux à l'air chaud.
Si l'air se refroidit (pendant la nuit), son humidité relative augmente et le produit sèche de moins en moins vite et peut même devenir encore plus humide. Le séchage et l'aération sont meilleurs pendant la journée (sauf pour les tubercules). Il est souvent préférable de couvrir le produit pendant la nuit pour éviter la formation de rosée et la montée de l'humidité du sol. Si le produit est soumis à des températures de séchage trop élevées (plus de 40 °C), sa viabilité diminue. Cela est particulièrement défavorable aux semences.

Tableau 4 : Températures maximales d'un bon séchage

usage	température maximale (°C)
nourriture pour bétail	74
nourriture humaine, sauf riz et haricots	57
farine	60
brasserie	43
semences	43
riz de consommation	43
haricots de consommation	35

Note : Un séchage à une température inférieure à la bonne température maximale donne en général une graine sèche de meilleure qualité.
En règle générale, utiliser des températures plus basses pour sécher des graines très humides. Mieux vaut utiliser une chaleur moins forte et prendre plus de temps que de courir le risque de dessécher ou de brûler les graines. Autre inconvénient d'un séchage trop rapide : les graines se fendillent et se casseront plus facilement au battage ou ecore la couche extérieure de la graine se durcit empêchant l'humidité de s'échapper.
Les graines très humides ou très grosses doivent être séchées en 2 ou 3 fois entre lesquelles on laisse le produit 'se reposer' pendant une journée.
En règle générale, la teneur en humidité d'un produit ne doit pas baisser de plus de 5% à chaque fois.
Les haricots trop secs sont difficiles à cuire.

4.3 Mouvement de l'air de séchage

L'air chaud est plus léger que l'air froid, donc l'air chauffé monte tout seul (courant d'air vertical). Au contraire le courant d'air du vent est horizontal. Ces deux courants d'air naturels ne sont pas très puissants : leur vitesse diminue vite s'ils rencontrent des obstacles.
Les produits en couches épaisses ou emballés serrés (souvent battus) et les petits produits (comme les grains de blé) offrent plus de résistance aux courants d'air que les produits en couches plus épaisses, emballés non serrés (souvent non battus) et que les gros produits (comme les épis de maïs). Dans un séchoir de brousse le produit est étendu sur

des nattes horizontales, en fines couches (de quelques cm à 10 cm environ) s'il est battu et en couches plus épaisses (10 à 50 cm maximum) s'il n'est pas battu.
Si le produit (en général non battu) sèche au vent, il est suspendu ou étendu en couches pas trop épaisses (de 10 à 60 cm maximum), perpendiculairement à la direction du vent dominant et de préférence sur un champ bien exposé au vent.
On peut améliorer considérablement le courant d'air en faisant tourner l'air avec un ventilateur (séchoir à moteur).
Un courant d'air choisit de préférence la voie de la moindre résistance. L'air chauffé et/ou soufflé ne doit pas s'échapper avant d'être entré en contact avec le produit à sécher. Le produit doit être suspendu ou mis en tas de façon uniforme pour permettre que la résistance du produit au courant d'air soit la même partout : la densité et l'épaisseur doivent être égales partout.
Plus le courant d'air passe vite à travers le produit, plus vite l'équilibre d'humidité entre le produit et l'air de séchage est atteint.
Remarque : si un produit a été séché à la chaleur, il doit être refroidi jusqu'à la température ambiante avant d'être stocké.

4.4 Méthodes de séchage

Le choix de la méthode de séchage dépend, entre autres, du type de produit à sécher, des circonstances climatiques lors de la récolte et des matériaux disponibles.

Séchage pendant une période de récolte complètement sèche :

Le produit peut alors être séché de façon simple, au soleil et au vent.

a Séchage sur la tige, dans les champs, avant la récolte.
N'offre pas de protection contre, par exemple, les oiseaux. Risque de destruction des graines.

b Séchage après récolte sur toutes sortes de râteliers de construction aérée (figure 7).
Le principe en est que le courant d'air chaud naturel (le vent) doit être le moins possible arrêté. Le produit est séché avant d'être battu

avec le feuillage ou la paille vers l'intérieur et les graines autant que possible vers l'extérieur. Cette méthode offre donc peu de protection contre les autres dangers qui menacent le produit (insectes, oiseaux, rongeurs et voleurs).

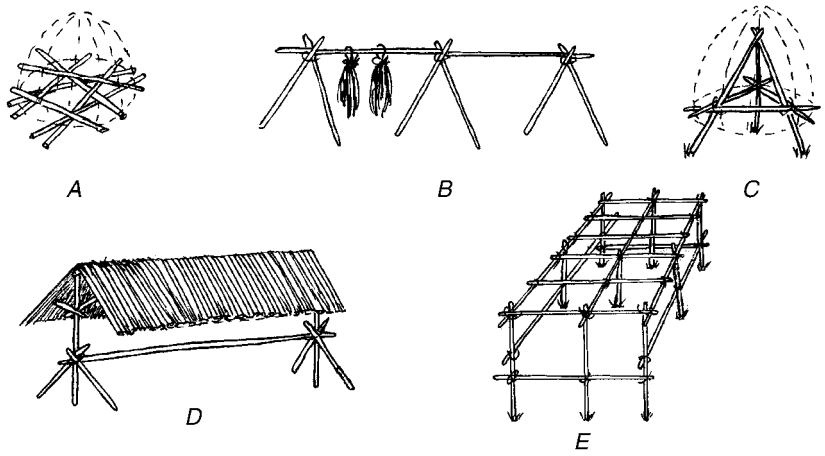


Figure 7 : Différents types de râteliers.
A: Tas de branchages sur lequel sèchent céréales et haricots.
B: Râtelier sur lequel le produit est suspendu en bottes.
C: Râtelier à foin (tripède) :
construction sur poteaux sur laquelle le produit est mis en tas.
D: Râtelier avec toiture.
E: Plate forme séchante.

Séchage pendant une période de récolte sèche, avec une averse de temps en temps et des nuits froides :
Il est très nuisible pour un produit en train de sécher de redevenir brusquement humide. Il peut alors se fendre ou éclater. Si le produit est séché avant d'être battu, il faut placer les graines vers l'intérieur et le feuillage et la paille autant que possible vers l'extérieur pour mieux le protéger contre la pluie.

Méthodes :

1 Séchage sur râtelier, au vent mais à l'abri de la pluie (figure 7 et figure 17).
2 Séchage en meules aérées (figure 7)
3 Le produit battu est étendu sur une grande natte au soleil (figure 5 et figure 6). Pendant la nuit et la pluie, la natte est pliée ou repliée et si possible rentrée. Comme le produit est directement exposé au soleil, la fine couche (par exemple de 3 cm) doit être remuée tous les quarts d'heure. Cette méthode exige beaucoup d'attention mais offre plus de protection contre les autres dangers.

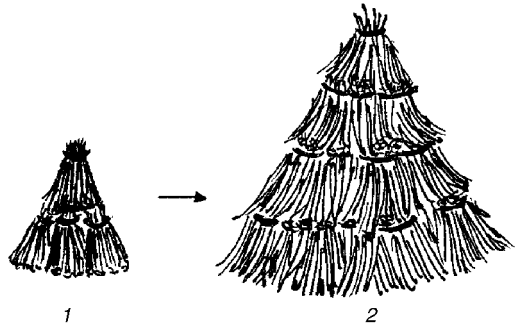


Figure 8 : meule de gerbes de céréales

Séchage pendant une période de récolte humide :

1 Dans une cabane à maïs ou dans des paniers aérés (voir méthodes de stockage 2 et 3).
Cette méthode permet à l'air extérieur s'asséchant après la récolte, de traverser au mieux le produit non battu, emballé non serré.
2 Séchage à l'aide des gaz de combustion et de l'air chaud d'un foyer (figure 9). Par exemple, une plate forme aérée construite au-dessus d'un foyer permet à la fumée et l'air chaud de passer facilement à travers le produit. Prendre soin que les semences ne soient pas chauffées au-delà de 40 °C et prendre garde aux incendies. Le coût est bas et, sauf déterioration possible du goût cette méthode pro-

Figure 9 : séchage au-dessus d'un foyer

tège assez bien contre les autres dangers.

3 Le produit à sécher est mis artificiellement en contact avec de l'air chaud Cette méthode de séchage est plus rapide et plus efficace mais plus coûteuse. La figure 10 et la figure 11 montrent deux modèles utilisant des barils à huile dans lesquelles on fait du feu : le séchoir simple à barils à huile et le séchoir à barils en puits. Le séchoir à barils en puits est aussi appelé séchoir de brousse ou séchoir à feu Brooks. On fait du feu dans les barils à huile reliés entre eux. Ce feu chauffe l'air environnant qui monte à travers le produit étalé en une couche assez mince sur une claie supportée par des piquets.

Epaisseur maximale de la couche : 5 à 8 cm pour les petites graines comme le millet et le sorgho; 10 cm pour le maïs décortiqué et les autres graines; 20cm pour les arachides, 30 cm pour le maïs en épis. Pour éviter la fumée qui altère le goût du produit, une cheminée est installée sous le vent dans la direction du vent dominant. Un abri au-dessus du séchoir protège la graine en train de sécher contre les pluies. Il faut constamment surveiller le feu pour éviter une température trop élevée.
Maintenir la température de séchage entre 50 et 55 °C pour les graines de consommation. Ne pas sécher de semences dans ces séchoirs car elles ne doivent pas être chauffées à plus de 40 °C. Ne pas remuer les graines en train de sécher; ne remuer qu'en cas suréchauffement pour libérer de la chaleur.
La capacité du séchoir dépend du produit à sécher, par exemple 500 kg de maïs décortiqué par jour.

Matériaux de construction : barils d'huile, grillage à poules, tringles de fer, ciment, fil de fer, bâtons.
Coût de l'opération : peut être assez élevé. Il consiste surtout dans le prix du carburant (bois à brûler, épis de maïs, enveloppes de riz, etc) et dans le travail.
La construction demande un travail de précision. Un manuel est disponible sur demande.

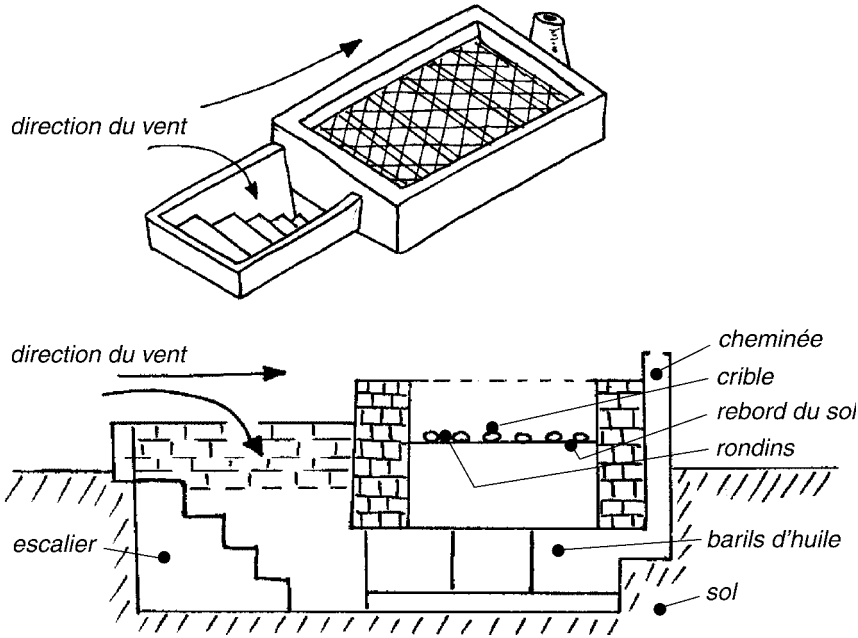


Figure 10 : séchoirs à barils fait de barils d'huile et de terre tassée à la main ou de blocs de boue séchoirs à barils en puits (coupe transversale)

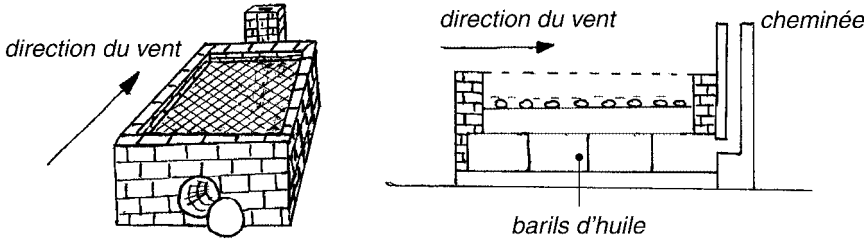


Figure 11 : séchoirs à barils fait de barils d'huile et de terre tassée à la main ou de blocs de boue séchoir simple à barils d'huile (coupe transversale)

4 Séchoirs solaires. Les séchoirs solaires ont l'avantage de ne pas donner de frais de carburant et de pouvoir être utilisés également pour d'autres produits comme le copra, le manioc, les fruits et les légumes. **Inconvénients** :
   - Les températures peuvent monter jusqu'à 65-80 °C : les semences et le riz risquent alors de s'abîmer.
   - Ils sont surtout utiles à certaines heures du jour et leur utilisation est limitée pendant les longues périodes de pluies ou de temps nuageux.

   On peut également construire un séchoir solaire utilisant la plupart du temps la chaleur solaire mais pouvant aussi être chauffé artificiellement pendant les périodes pluvieuses ou nuageuses (voir figure 12). Un manuel de construction est disponible sur demande.
5 Séchoirs à moteur. Un ventilateur à moteur souffle l'air chauffé par le moteur ou par un brûleur à travers le produit étendu sur une plate forme séchante.

A l'Institut International de Recherches sur le Riz (IRRI) à Manille aux Philippines, on a mis au point un séchoir batch à tas pour le riz qui utilise les enveloppes de riz comme carburant. Les séchoirs à moteur conviennent pour sécher les céréales, les légumineuses et les produits oléagineux. La capacité du séchoir dépend de sa taille et du produit à sécher. Ainsi, par exemple, avec le séchoir batch IRRI, 1000 kg de riz sèchent en 5 heures.

Matériaux de construction : un moteur (par exemple 3-5 chevaux), un ventilateur, du bois, du fil et éventuellement un brûleur à kérozène.
Coûts : les frais de construction et de carburant risquent d'être lourds pour un paysan seul. Un tel séchoir doit donc de préférence être construit et utilisé en commun par un groupe de paysans.
La construction demande du travail soigné et des connaissances techniques.

Comme on l'a vu ci-dessus, les frais de carburant des séchoirs à barils et des séchoirs à moteur peuvent être un handicap. De plus, le carburant est parfois difficile à se procurer, et/ou trop cher.

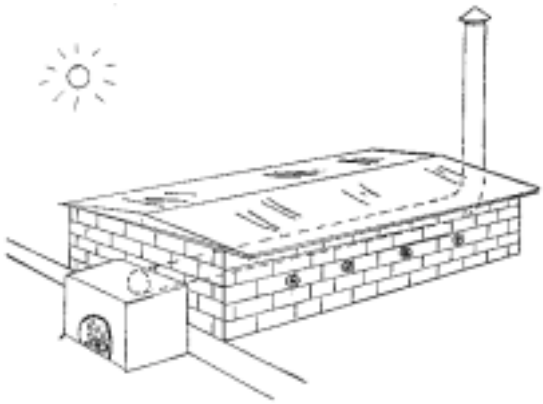


Figure 12 : séchoir à double utilisation : solaire et au carburant

Les méthodes de séchage doivent donc être adaptées aux circonstances locales : climat, connaissances techniques, carburants disponibles, matériaux de construction, etc. Au besoin, n'hésitez pas à poser vos problèmes de séchage à Agromisa. Mais nous vous prions de nous donner des précisions sur le produit à sécher (type, quantité, usage, etc.) sur les conditions climatiques de la période de séchage (quantité de soleil, de pluie, température, etc.), et sur les carburants et matériaux de construction disponibles.

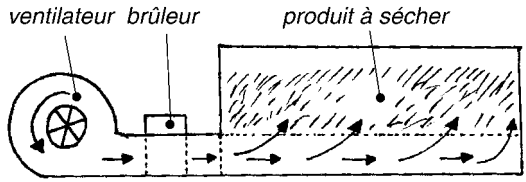


Figure 13 : principe du séchoir à moteur. I est possible aussi de construire le ventilateur entre la machine et la plate forme de séchage

5 Methodes de stockage

5.1 Introduction

Les produits peuvent être stockés dans toutes sortes de conteneurs allant des gourdes en terre, des paniers, des cabanes, etc. jusqu'aux grands silos en métal ou en ciment (armé).
Selon les possibilités financiaires, les matériaux disponibles et les circonstances extérieures (climatiques), on choisira entre les différentes méthodes citées ci-dessous.
Rappelons que chaque conteneur de stockage, indépendamment de sa forme ou de ses matériaux de construction doit conserver le produit au sec et au froid et le protéger contre les insectes, les moisissures, les rongeurs, les animaux domestiques et les voleurs.
Une petite quantité touchée par les insectes ou les moisissures ou dont la teneur en humidité est trop élevée suffit à gâter la totalité du stock.
C'est pourquoi un conteneur de stockage ne doit conserver que des graines de même qualité.

Température

Il est extrêmement important que les silos aient un toit dont les bords dépassent assez pour protéger les murs contre la lumière directe du soleil. Cela fait baisser la température intérieure, atténue l'écart de température entre le jour et la nuit et réduit les risques d'échauffement local. Un échauffement local provoque la condensation à des endroits plus froids et, par conséquent, le développement des moisissures. On peut aussi utiliser des matériaux de construction ne laissant pas passer facilement les variations de températures extérieures ou peindre les conteneurs en blanc.

Humidité

L'humidité peut pénétrer dans le conteneur de stockage par le sol, par les murs ou par le toit. Un bon toit en surplomb doit protéger les murs contre la pluie. Afin d'empêcher l'humidité de monter du sol, on place toujours les gourdes, les paniers, les sacs, etc. sur un fond sec, sur une plate forme en briques ou sur des poteaux en bois. Pour faire barrière à

l'humidité, on construit les sols de pierre ou de béton sur des feuilles de métal, de papier goudronné, ou de plastique et/ou on les protège d'une couche d'1 cm d'épaisseur de ciment imperméable (proportions en poids eau : ciment : sable = 0,3:1:3).
Pendant la saison des pluies, l'humidité de l'air peut rentrer aussi par les murs du silo, à moins qu'on ait tenu compte de ce problème à la construction du silo (stockage étanche à l'air).

Insectes

Il est de toute première importance de tenir l'entrepôt et ses alentours le plus propre possible, surtout si la méthode de stockage utilisée n'est pas étanche à l'air. Ne pas mettre de produit propre dans un conteneur avant d'en avoir retiré tous les vieux produits, la poussière, la paille et les insectes, et avant d' avoir bien bouché toutes les fentes et tous les trous. Il faut faire la distinction entre les insectes déjà présents dans le produit avant le stockage et les insectes qui pénètrent dans l'entrepôt pendant le stockage :

Insectes déjà présents dans le produit avant le stockage

On arrête le développement des insectes par :

- Un stockage étanche à l'air (voir plus loin).
- Une exposition au soleil. Les insectes abandonnent le grain chauffé au soleil, car ils n'aiment pas les températures supérieures à 40-45 °C. Pourtant, le processus d'exposition au soleil ne tue pas toujours tous les oeufs et larves se trouvant dans le grain.
- En mélangeant aux graines de la cendre de bois (ou d'enveloppes de riz brûlées), de la bouse de vache brûlée, du sable fin, de la chaux, de la terre siliceuse (diatomite) ou certaines sortes de kaolin.
  Proportions en volume cendre : grain = 1:1 à 1:2 et argile : grain = 1 : 10. L'effet du kaolin est largement accru s'il est acidifié avec de l'acide sulfurique ou de l'acide chlorydrique et chauffé ensuite à 400 °C.
  Ces matériaux remplissent les espaces intergranulaires limitant ainsi le mouvement des insectes et leur développement. Une méthode similaire est l'adjonction au maïs ou au sorgho de petits grains de céréale comme le millet. L'application sur les cosses de certaines

huiles végétales, comme l'huile de palme ou l'huile d'arachide protège contre les bruchides (sorte de scarabée)
- En mélangeant aux graines des plantes locales. Dans de nombreuses régions, certaines plantes locales sont connues pour les propriétés de leurs racines, feuilles, fleurs et/ou fruits (secs, moulus) de repoussant ou d'insecticide, par exemple les feuilles de nim, le derris. Demandez aux gens du pays!
- En fumant le produit. La fumée et la chaleur du feu tuent ou chassent les insectes hors du produit à stocker (voir aussi section "température de l'airde séchage page 24).
- Le stockage de graines ou de haricots non battus offre une certaine protection contre les insectes (voir aussi page 11 section "Remarques")
- En utilisant des insecticides comme la lindane, le malathion ou le pyréthrum.

Ne pas oublier que les insecticides sont également toxiques pour l'humain et l'animal. Ils doivent donc être utilisés avec le plus grand soin. Suivre scrupuleusement le mode d'emploi.

Insectes entrant dans le grain pendant le stockage

Un silo de bonne construction doit empêcher les insectes d'entrer. Des ouvertures de remplissage et d'écoulement bien fermées permettent d'éviter l'infection. Les paniers doivent être scellés avec un enduit de boue. Une construction sur poteaux permet d'éviter l'infection d'insectes comme les fourmis et les termites.

Les poteaux doivent être :
- traités avec du gris de Paris, du coaltar (goudron de houille) ou de l'huile de camphre vert.
- entourés d'une couche de cendre de bois tamisée.
- recouverts de graisse ou de déchets d'huile. Les déchets d' huile peuvent aussi être versés dans les trous avant la mise en place de poteaux.

Rongeurs

On écarte les souris et les rats en bouchant tous les trous du silo, en les garnissant de grillage fin ou en construisant un silo sur poteaux d'au

moins 75 cm de haut, avec des chasse-rats autour des poteaux (figure 14). Si on place le silo sous un arbre, les rongeurs peuvent sauter de l'arbre et entrer dans le silo par le toit.

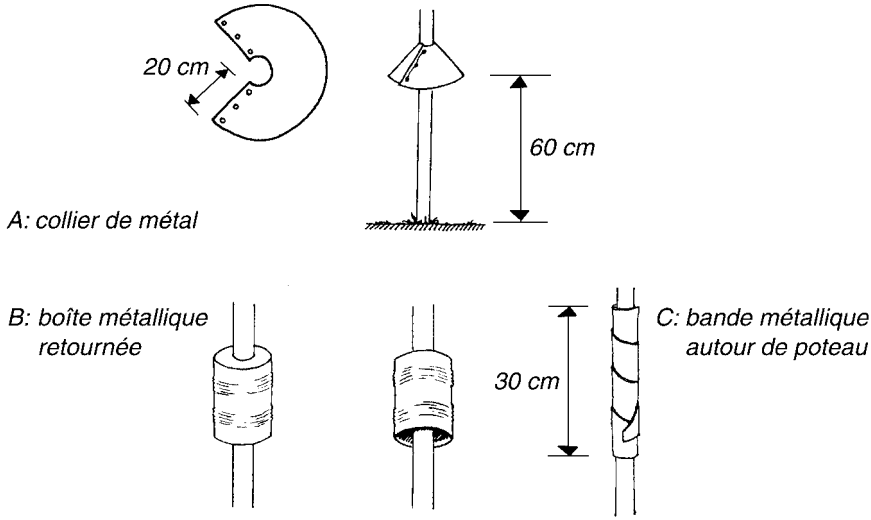


Figure 14 : exemples de chasse-rats.
Le chasse-rat doit être bien serré autour du poteau de façon à empêcher même le plus petit rongeur de grimper entre lui et le poteau.

Animaux domestiques

On les tient à distance en construisant autour du silo une clôture en bois, en bambou ou en autre matériau local. Un mur de branchage autour du silo suffit également. Veiller à ce que le mur ne devienne pas une cachette pour les rats.

Voleurs

Le vol sera difficile si les ouvertures de chargement et d'écoulement pouvent se verrouiller.

Stockage étanche à l'air et stockage non étanche à l'air

On peut diviser les méthodes de stockage en méthodes étanches et en méthodes non étanches. Le stockage étanche se fait dans des gourdes (calebasses) et dans des pots vernis ou traités à l'huile de lin, à la poix, au bitume ou à toute autre substance épaisse et collante. Les autres méthodes étanches à l'air comprennent les sacs en plastique, le coffre pusa, les bidons à huile, les silos en métal, les puits souterrains et les silos en briques ou béton traités avec un mortier imperméable ou peints avec de la peinture imperméable. Le couvercle et l'ouverture d'écoulement doivent être recouverts de caoutchouc ou scellés avec de la boue, de la bouse de vache, du goudron ou de la cire.

Avantages du stockage à l'air :

- C'est une méthode peu coûteuse contre les insectes. Les insectes et le produit stocké lui-même (sauf quand il est très sec) respirent. Ils prennent l'oxygène et rejettent du gaz carbonique : les insectes meurent. On peut, pour accélérer ce processus, placer une petite bougie dans une boîte en haut du silo et l'allumer juste avant de fermer le silo. En brûlant, la bougie prend rapidement une bonne partie de l'oxygène présente. Remplir le silo jusqu'en haut permet à l'oxygène de s'épuiser plus vite.
- L'air humide extérieur ne peut entrer. Très important sous les tropiques humides.

Inconvénients du stockage étanche à l'air :

- Le produit doit être bien séché puisque la continuation du séchage pendant le stockage est impossible. Afin d'éviter le développement des moisissures et la baisse de viabilité de la semence, la teneur en humidité du produit stocké ne doit pas dépasser la bonne teneur en humidité (pour les céréales et légumineuses : 12-13%, pour les produits oléagineux : ±7%). Cependant les grains ayant cette teneur en humidité restent une très bonne nourriture pour certains insectes. Pour ralentir le développement des insectes, la teneur en humidité du grain ne doit donc pas dépasser les 9%, si d'autres précautions n'ont pas été prises (voir plus haut).

- Un stockage totalement étanche à l'air est difficilement réalisable (fissures près du couvercle, petites fentes dans le mur, etc).
  Lorsqu'une partie du stock est régulièrement utilisée pour la consommation, le principe du stockage étanche est perdu, car de l'air frais entre chaque fois que le silo est ouvert. C'est surtout le cas si le silo s'ouvre par le haut. Les silos à ouverture d'écoulement par le bas conservent une couche de gaz carbonique au-dessus du produit.
- Le contrôle régulier du produit est difficile, car on ne peut inspecter complètement un silo et son contenu sans laisser entrer de l'air.

Entretien de l'entrepôt :
- Réparation de l'entrepôt : boucher toutes les fissures et tous les trous. Peindre ou blanchir à la chaux les murs et les sols. Cela bouche les très petits trous (dont les insectes raffolent).
- Grand nettoyage de l'entrepôt : Brûler ou faire du compost avec la poussière, les morceaux de vieilles graines, la saleté, la paille, etc. Pour les silos en brique, en béton ou en boue, brûler les restants à l'intérieur même du silo : la cendre et la fumée serviront de désinfectants. Nettoyer également les alentours de l'entrepôt. Il faut faire disparaître les matériaux organiques qui attirent les insectes et les termites.
- Inspection du produit stocké une fois par semaine si possible (sauf pour le stockage étanche à l'air).

5.2 Méthodes de stockage

Méthode 1 : Pots en terre et gourdes

Les pots en terre et les gourdes (coques dures séchées de certains fruits et légumes) sont très pratiques pour stocker les petites quantités, particulièrement sous les tropiques arides. Ils doivent être conservés à l'intérieur ou sous un abri. Au-dessus de la cuisine (où il n'y a jamais beaucoup d'insectes) est un endroit tout indiqué. Les gourdes et les pots traités au vernis, à la peinture ou à l'huile de lin avec des couvercles scellés avec de la boue ou de la bouse de vache permettent un stockage étanche à l'air bien adapté également aux tropiques humides.

De grosses boîtes (par exemple des boîtes de lait en poudre) et des bouteilles recouvertes d'osier conviennent aussi.

Convient pour: petites quantités de céréales, de haricots, d'arachides, et aussi aux semences.
Durée du stockage : 1 an environ.
Contenance : 5 à 30 litres.
Coût : bas.

Méthode 2 : Paniers
Les paniers conviennent très bien sous les tropiques arides. Comme l'aération est importante sous les tropiques humides, il ne faut pas trop serrer les paniers les uns contre des autres. Ils doivent être mis sur une plate forme au-dessus du sol. Placer des chasse-rats sur les piquets de la plate forme.

Figure 15 : paniers traditionels

Un panier ne protège pas assez contre les insectes. On remédie à cela en appliquant de la boue, de l'argile ou de la bouse de vache sur l'intérieur et sur l'extérieur du panier. Le couvercle doit être hermétiquement fermé avec un enduit fait du même matériau. Le même effet d'étanchéité à l'air est obtenu en mettant un sac en plastique dans le panier.
Dans un panier enduit, l'aération n'est plus possible. Un produit stocké trop humide va rapidement moisir et pourrir. Il faut donc décider si l'on donne priorité à la continuation du séchage ou à une meilleure protection contre les insectes.
La couche extérieure de boue protège également contre les rongeurs. Cette méthode de stockage permet d'utiliser des insecticides, surtout

pour les grands paniers : retirer la poussière se trouvant à l'intérieur du panier et mélanger de l'insecticide au grain. Laver le grain très soigneusement avant la consommation. Si aucun insecticide n'est disponible, mélanger au grain de la bouse de vache brûlée ou des cendres de bois.
S'assurer que les paniers sont bien protégés de la pluie. Les paniers faits en herbe ou en roseau doivent être conservés à la maison ou dans un endroit sec.

Convient pour : céréales, légumineuses, graines oléagineuses et pommes de terre.
Durée du stockage : 6 à 9 mois.
Contenance : 25 à 2000 litres.
Matériaux : roseaux, herbes, branchages, feuilles de palme, bambou, etc.
Coût : bas, mais exige un travail intensif.

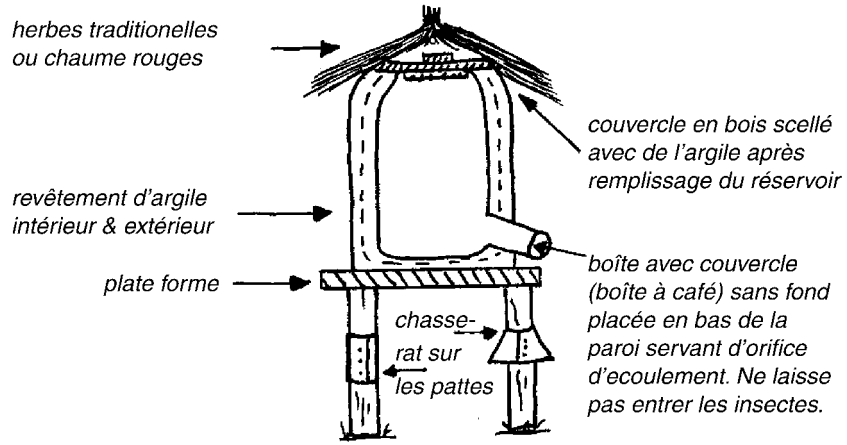

herbes traditionelles ou chaume rouges
couvercle en bois scellé avec de l'argile après remplissage du réservoir
revêtement d'argile intérieur & extérieur
boîte avec couvercle (boîte à café) sans fond placée en bas de la paroi servant d'orifice d'ecoulement. Ne laisse pas entrer les insectes.
plate forme
chasse-rat sur les pattes

Figure 16 : croquis d'un panier amélioré : enduit d'argile et surélevé sur plate forme sur pattes

Méthode 3 : Cabane à maïs
La cabane à maïs convient bien au stockage des épis de maïs tant sous les tropiques humides que sous les tropiques arides. La cabane à maïs

de la figure 17 permet la continuation du processus de séchage pendant le stockage par aération naturelle. Ceci s'applique aux périodes peu pluvieuses, pendant lesquelles l'humidité relative descend régulièrement en-dessous de 70%. Placer si possible les côtés longs de la cabane perpendiculairement à la direction du vent dominant. Son étroitesse (sous les tropiques humides sa profondeur maximale est de 60 cm) permet un meilleur processus de séchage que dans les cabanes rondes traditionnelles. La cabane à maïs protège mal contre les insectes. Les variétés de maïs dont l'enveloppe couvre tout l'épi (variétés traditionnelles) sont assez bien protégées pendant 3 a 6 mois.
Si l'on applique un insecticide, retirer les enveloppes pour que l'insecticide puisse recouvrir la surface des graines. Afin d'empêcher les insectes d'entrer, les murs extérieurs doivent être saupoudrés régulièrement, selon la durée d'effectivité de l'insecticide.
De plus, si les enveloppes sont retirées, le séchage des graines est plus rapide. Quand les graines sur les épis atteignent la bonne teneur en humidité, les épis peuvent être décortiqués et stockés de façon moins volumineuse.
Le maïs n'est pas assez protégé contre les voleurs.

Convient pour : maïs, ignames.
Durée de stockage : 3 à 6 mois sans insecticides.
Contenance : 400 kg d'épis de maïs par mètre de longueur sur 60 cm de profondeur et 1,5 m de hauteur (400 kg de maïs en épis = 270 kg de maïs décortiqué.
Matériaux :

- pattes et supports latéraux : bambou et autres bâtons droits.
- côtés : bambou fendu, tiges de feuilles de palme, raffia ou autres bois.
- toit : natte de raffia ou chaume.

Coût : bas en général, selon les matériaux utilisés.

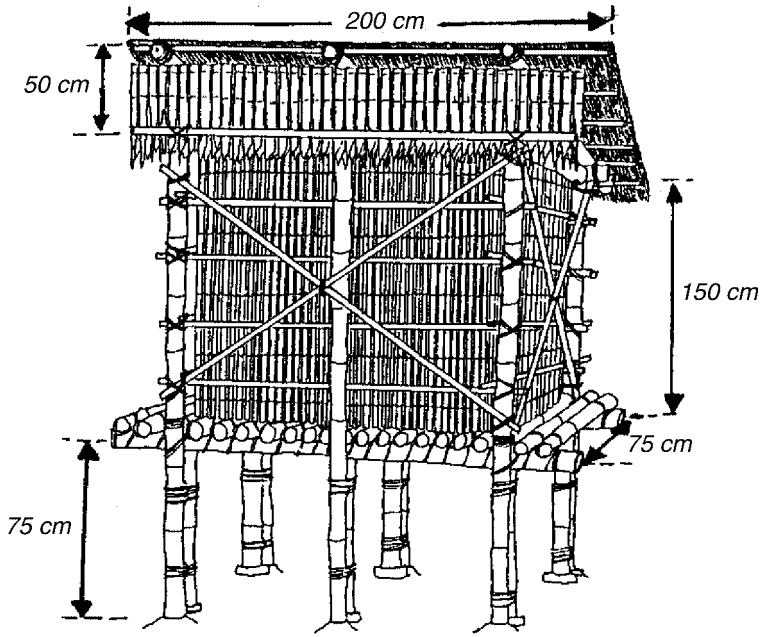


Figure 17 : cabane à mais en bambou

Méthode 4 : Sacs en jute

Les sacs en jute sont en général moins chers que les sacs en coton ou en sisal. Ils conviennent particulièrement bien aux tropiques arides. Vu les dangers de montée d'humidité, les sacs ne doivent pas être posés sur des sols en béton ni sur la terre, mais sur des feuilles de plastique, des toiles imperméables ou des palettes en bois. Ces dernières sont à préférer car de plus elles laissent passer l'air sous les sacs. Ne pas entasser les sacs contre les murs car les insectes et termites entrent dans le grain par les murs. Les entasser soigneusement les uns contre les autres en réduisant les quantités au sommet. Laisser un peu d'espace entre les sacs pour que l'air y puisse circuler librement (voir figure 20). Laisser des passages de 40cm entre les sacs pour permettre l'inspection, le nettoyage et le traitement des insectes et des rongeurs.

Avantages des sacs en fibres :
Si les sacs sont entassés de façon à ce que l'air puisse circuler entre eux et permette la continuation de séchage et de la réfrigération, la teneur en humidité du produit peut alors être un peu plus élevée que dans un stockage étanche à l'air. Les sacs sont faciles à manier et à étiqueter. Comme ils laissent passer les gaz, ils permettent aussi l'élimination des insectes avec des fumigants dans un endroit clos ou sous une feuille de plastique couvrant le tas de sacs. Ce travail doit être uniquement fait par un spécialiste.

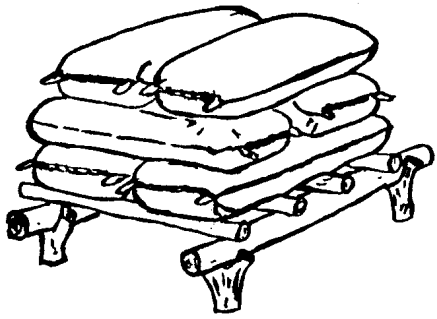


Figure 18 : tas de sacs sur palette

Inconvénient majeur :
Les sacs en fibres n'offrent pas beaucoup de protection naturelle contre les insectes, les rongeurs, les moisissures et l'humidité. De plus, ils peuvent s'abimer facilement lors du transport et de la manipulation.
Un insecticide peut être mélangé au produit et saupoudré sur les sacs. Si l'on ne dispose pas d'insecticide, le remplacer avec du sable ou des cendres.

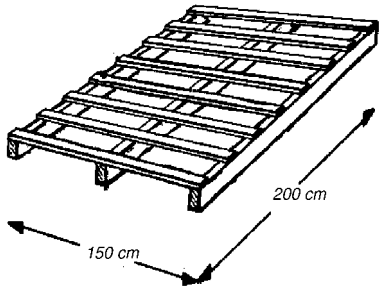


Figure 19 : palette

Pour interdire aux insectes et aux rongeurs l'accés de l'entrepôt, boucher tous les trous et fissures avec du ciment ou de la boue avant de commencer le stockage. Lorsque l'entrepôt a besoin d'aération, couvrir les ouvertures avec des moustiquaires.

Bien nettoyer les sacs déjà utilisés et en raison de la présence possible de moisissures dans les vieux sacs, stocker les sacs neufs séparement.

Nettoyage des sacs :
Bien les secouer. S'ils sont faits d'un matériau supportant l'eau chaude, les faire cuire ou les plonger dans de l'eau trés chaude. Les faire sécher en plein soleil. Si les sacs ne peuvent pas se nettoyer à l'eau, bien les brosser et les étendre au soleil. On peut mettre également les sacs dans un conteneur fermé et les fumiger pour tuer les insectes.
Il est important d'inspecter et de nettoyer l'entrepôt régulièrement (une fois par semaine). Brûler la saleté recueillie. Sauf pour les arachides non décortiquées, ne pas empiler les sacs en plein air car cela augmenterait le danger d'attaques d'insectes. Vanner le produit infecté, le passer au crible et l'étendre au soleil avant de le remettre dans des sacs propres.

Convient pour : céréales, légumineuses, graines oléagineuses, pommes de terre.
Durée du stockage : jusqu'à un an, selon les circonstances.
Contenance : 50 à 100 litres.
Coût : selon les circonstances locales (matériau utilisé : jute, sisal, coton, chanvre ou d'autres fibres locales).

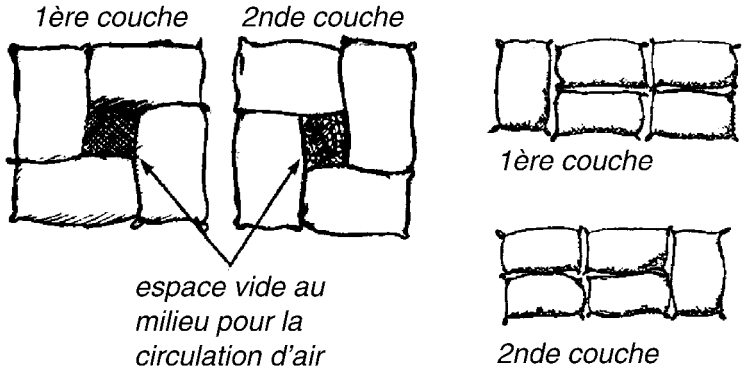


Figure 20 : modèles de base pour petits tas

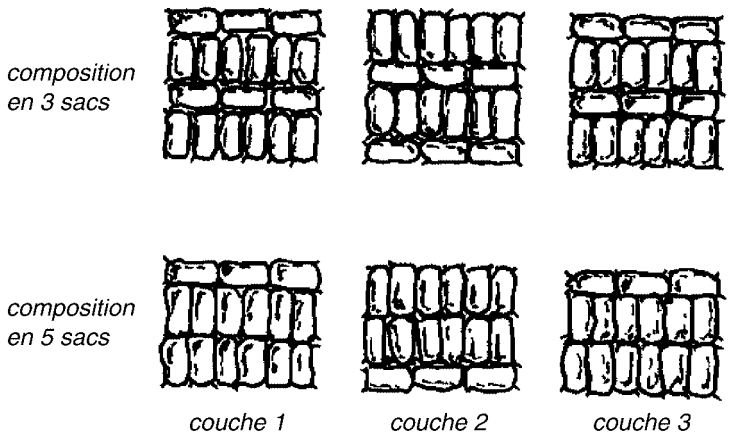


Figure 21 : modèles de base pour gros tas

Méthode 5 : Sacs en plastique

Les sacs en plastique conviennent au stockage sous les tropiques humides et sous les tropiques arides. Le produit doit être bien séché car la continuation du séchage est impossible pendant le stockage. Même si les sacs en plastique restent ouverts, le produit ne peut pas sècher car la circulation de l'air ne s'y fait pas. Les sacs en plastique bien fermés (figure 22) permettent le stockage étanche à l'air, avec tous ses avantages et ses inconvénients. Les sacs en plastique n'offrent guère de protection contre les rongeurs et c'est pourquoi il faut redoubler d'attention. En outre certaines graines, comme quelques variétés de maïs, ont des bouts pointus qui peuvent perforer le plastique. Les sacs en plastique ne conviennent pas vraiment au stockage de produits devant être vendus et transportés. Mais cela dépend bien-sûr de l'épaisseur et de la solidité du plastique. Si l'on stocke dans des sacs en plastique des haricots touchés par le scarabée des haricots secs ou des céréales infectées par le charançon du grain, les insectes risquent de perforer le plastique en essayant de s'échapper. On remédie à cela en plaçant à l'intérieur du sac en plastique un sac en coton finement tissé. Exposé longuement à la lumière du soleil, le plastique s'affaiblit et

s'abîme, par consequent aucun emballage en plastique ne supporte indéfiniment la lumière directe du soleil.
L'avantage du plastique transparent est que le produit est visible : cela facilite le contrôle. Néanmoins le produit peut avoir bonne mine et être pourtant de qualité décevante ou sentir le moisi. L'inconvénient du plastique transparent est que les lézards peuvent voir les insectes au travers et sauter dessus en abîmant le plastique.

Convient pour : semences, céréales, légumineuses, arachides, copra.
Durée du stockage : 6 à 9 mois.
Contenance : 50 à 100 litres.
Coût : assez élevé, sauf par exemple si l'on utilise des sacs d'engrais en plastique de bonne qualité.

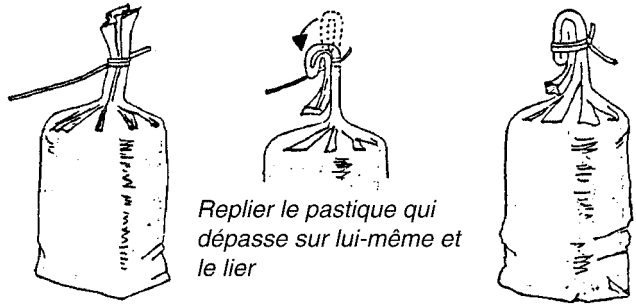


Figure 22 : fermeture étanche à l'air des sacs en plastiques

Méthode 6 : Silos en terre
Le stockage dans des constructions en terre est souvent pratiqué sous les tropiques arides. Il est moins adapté aux tropiques humides car l'humidité peut entrer par les murs et provoquer le développement des moisissures. Les murs des silos en terre peuvent être rendus plus imperméables :
1 en utilisant un mélange de 90% de terreau ou d'argile et de 10% de ciment pour la construction des murs.
2 en peignant ou revêtant les murs extérieurs avec du coaltar, de l'asphalte, des huiles organiques, des peintures rejettant l'eau, des résines, etc.

3 en appliquant sur les murs une couche de mortier étanche à l'eau (proportions en poids sable : ciment : eau = 3 : 1 : 0.3) et éventuellement en les peignant avec de coaltar, etc. Du blanc de chaux passé sur les murs permet au silo de conserver sa fraîcheur interne et bouche toutes les petites fissures.

Comme la continuation du séchage pendant le stockage est impossible, le produit doit être bien séché avant d'être mis en silo.
Les silos en terre protègent mieux contre les insectes que par exemple les cabanes à maïs, mais l'emploi d'insecticide, de sable fin , etc. reste conseillé.
Le silo doit être protégé des pluies car les pluies fortes peuvent faire de graves dégâts.

Avantages des silos en terre sur les silos en pierre ou en béton :
- Ils ne sont pas chers.
- Ils peuvent être contruits avec des matériaux locaux.
- Leur construction n'exige pas un travail de spécialiste.

Inconvénients :
- L'humidité monte de l'environnement humide, si l'on ne prend pas certaines précautions (voir plus haut).
- Pendant le séchage, des fissures apparaissent souvent dans les murs. Pour remédier à cela, on mélange à la boue de la paille hachée ou de l'herbe ou bien on construit un chassis en bambou qu'on enduit de boue.
- La durée de vie est plus courte.

Convient pour : céréales, produits oléagineux, légumineuses et ignames.
Durée du stockage : 6 à 9 mois.
Contenance : 0,5 à 2 tonnes.
Matériaux : argile ou boue, bambou ou bois et paille ou herbe pour les types traditionnels.
Coût : bas, sauf en cas d'améliorations.
Construction : simple.

La figure 23 montre un silo en blocs de boue amélioré. Il est fait de briques en boue et est amélioré par le revêtement et la peinture des murs. Un manuel de construction est disponible sur demande.

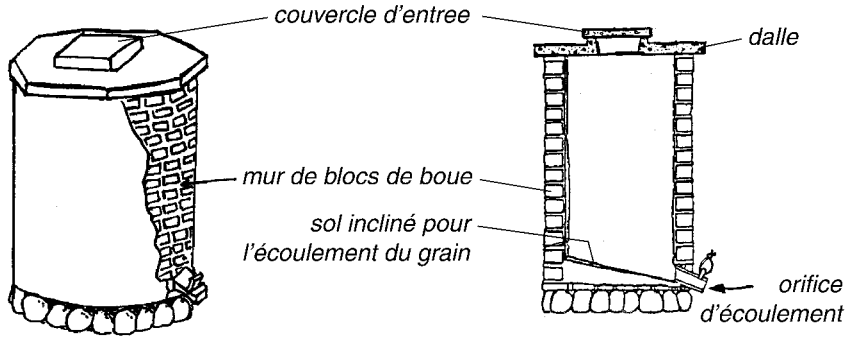


Figure 23 : silo en blocs de boue amélioré

Méthode 7 : Coffre pusa

Le coffre pusa indien est un silo carré à murs doubles, – sol et toiture inclus – avec une couche de feuilles de plastique au milieu. Le plastique protège le produit stocké de l'humidité et de l'air extérieurs à condition bien-sûr que les ouvertures de chargement et d'écoulement soient bien fermées. Les murs sont faits en blocs de boue, ou d'un mélange de boue (90%) et de ciment(10%), en brique ou en béton.
Le coffre pusa convient aux tropiques arides et aux tropiques humides à condition qu'il soit protégé des pluies. Le coffre protège bien contre les insectes et les rongeurs, surtout si les 50 cm de base des murs extérieurs et du sol sont faits en briques ou en béton

Convient pour : céréales, produits oléagineux, légumineuses.
Durée du stockage : 6 à 12 mois. Des produits très bien séchés (par exemple du blé à une teneur en humidité de 7,5%) peuvent se conserver plusieurs années.
Contenance : 400 à 3000 kg de céréales.
Matériaux : boue, ciment ou béton, bois, mortier et plastique de 1,8 m de large. Les feuilles de plastique peuvent être collées ensemble avec un fer à repasser, entre deux feuilles de papier.

Coût : selon les matériaux utilisés; surtout le coût des 9 m_2 de plastique.
Construction : exige un travail de précision. Un manuel de construction est disponible sur demande.

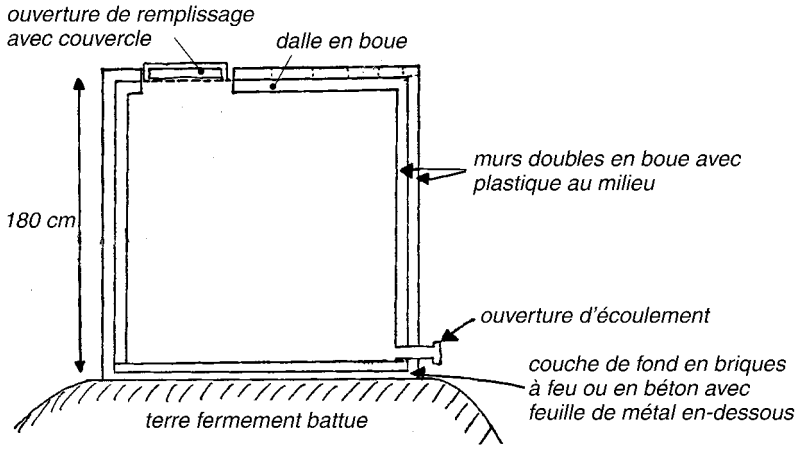


Figure 24 : le coffre Pusa (coupe transversale)

Méthode 8 : Bidons en métal

Des bidons en métal (réservoir à eau ou bidons à huile) peuvent être utilisés pour le stockage aprés avoir été bien lavés. Ils ne doivent jamais être mis en plein soleil à cause du risque de formation de croûte sur les parois intérieures et pour éviter les variations de température et d'humidité du produit stocké. Les bidons doivent être mis à l'abri sous un bon toit ou être isolés avec une couche de paille. Ils peuvent être utilisés sous les tropiques arides et humides. Si l'on n'y prend garde, ils rouillent rapidement dans les endroits chauds et humides. Quand les bidons en métal sont clos de façon étanche à l'air, l'utilisation d'insecticides est inutile (voir section "Introduction" page 34)

Convient pour : céréales, légumineuses, semences.
Durée du stockage : jusqu'à un an.
Contenance : selon la taille du bidon, de 50 à 200 litres.
Coût : selon les circonstances locales.

Méthode 9 : Petits silos en métal

Les petits silos en métal ressemblent aux bidons en métal. Pourtant, leur contenance est plus grande, jusqu'à 5 tonnes.

La figure 25 donne un exemple de silo en métal d'une contenance de 3 tonnes. Ce modèle est fait avec des feuilles métalliques, épaisses de 1 mm, soudées les unes aux autres. Ce soudage exige une certaine habileté technique, surtout si le silo doit être étanche à l'air.

Il a deux ouvertures, une en haut pour le remplir et une en bas pour le vider. Comme pour les bidons en métal, les silos en métal ne doivent jamais être mis en plein soleil. Un bon toit en surplomb est la meilleure solution.

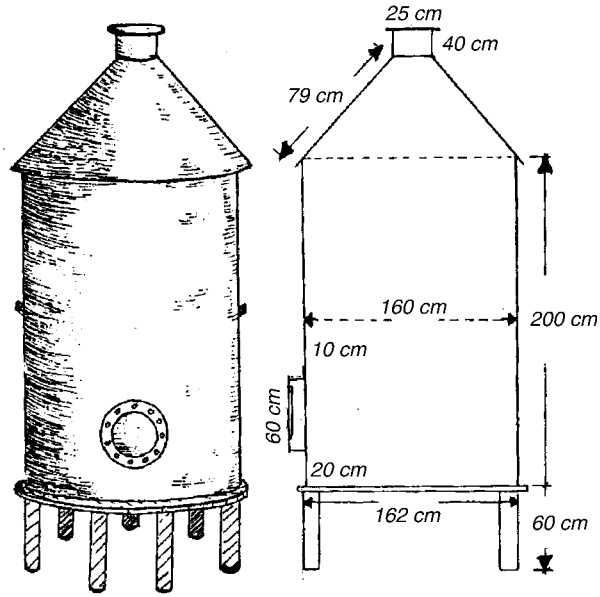


Figure 25 : silo en feuilles métalliques (3 tonnes)

Convient pour : céréales et légumineuses.
Durée du stockage : un an environ.
Contenance : selon la taille.

Matériaux : le type de 3 tonnes exige 16 m_2 de feuilles de fer, d'1 mm d'épaisseur.
Coût : matériau et soudage.

Méthode 10 : Silos en brique ou en ciment (armé)
Ces silos conviennent tant aux tropiques arides qu'aux tropiques humides. Ils doivent être protégés de la pluie par un toit et par un sol en béton (renforcé) ou en brique.
Les silos dispensent un stockage étanche à l'air et à l'eau s'ils sont peints avec, par exemple, de la peinture à base de caoutchouc chlorisé, du coaltar ou du bitume. Les silos en brique et en ciment armé peuvent être de différentes formes et de différentes tailles.

Quatre types de silos :
1 Silo en brique (figure 26)
2 Silo en douves de ciment (figure 27)
3 Silo thaï en ciment armé (figure 28)
4 Silos multicoffres en béton (figure 29)
Des manuels de construction sont disponibles sur demande.

Silo en brique.
Ce silo est fait en briques de béton à mortier placées sur une fondation renforcée. Le couvercle – avec un passage pour entrer – est en béton et, si possible, en feuilles métalliques pour en faciliter le maniement. Il est assez facile à construire.

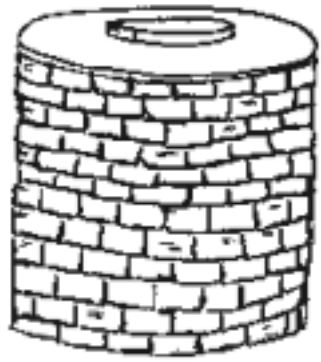


Figure 26 : silo en briques

Convient pour: céréales et légumineuses.
Durée de stockage : jusqu'à un an.
Contenance : 3000 litres (2100 kg environ).
Matériaux : ciment (7 sacs), des barres de renforcement (36 m), un moule en bois, (feuilles métalliques).

Silo en douves de ciment

Ce type de silo est plus durable que les précédents. Il est plus cher à cause des matériaux utilisés, mais reste moins cher qu'un silo en feuilles métalliques de même capacité. Il peut être construit sur des piliers en briques ou sur une fondation en briques. Les murs sont faits de douves de ciment tenues ensemble avec du fil de fer et la dalle de couverture est en béton.

La construction exige de la précision et des connaissances techniques.

Convient pour : céréales et légumineuses.
Durée de stockage : 9 à 12 mois.
Contenance : selon la taille : 2,5 ou 4,5 tonnes.
Matériaux :

	silo 4,5 t.	silo 2,5 t.
ciment (sacs de 50 kg)	12 sacs	9 sacs
barres/renforc. (diam. 6mm)	8 bars (6 m)	4 bars
fil de fer galvanisé (diam 3 mm)	1 rouleau (4 kg)	1/2 rouleau
renforcements en fer	10	10
coaltar	15 l	12 l
papier goudronné	1m^2	1m^2
gravier	0,6 m^3	0,4 m^3
sable	2 m^3	1,5 m^3

Silo thaï en ciment armé

Le ciment armé est une sorte de béton renforcé. Il est fait avec du grillage (du grillage à poules par exemple), du sable, de l'eau et du ciment. Il est solide et durable. Les silos en ciment armé peuvent être faits dans presque toutes les formes.

Le silo thaï en ciment armé présenté à la figure 28 a une forme conique et est étanche à l'eau et à l'air. Sa base en forme de soucoupe est faite de deux couches de béton renforcé avec, entre les deux, une couche de bitume, de papier d'asphalte, de plastique ou de métal. Le chassis des murs est fait de tuyaux à eau ou de bâtons de bambou et de barres de renforcement supportant une couche intérieure et une couche extérieure de grillage.

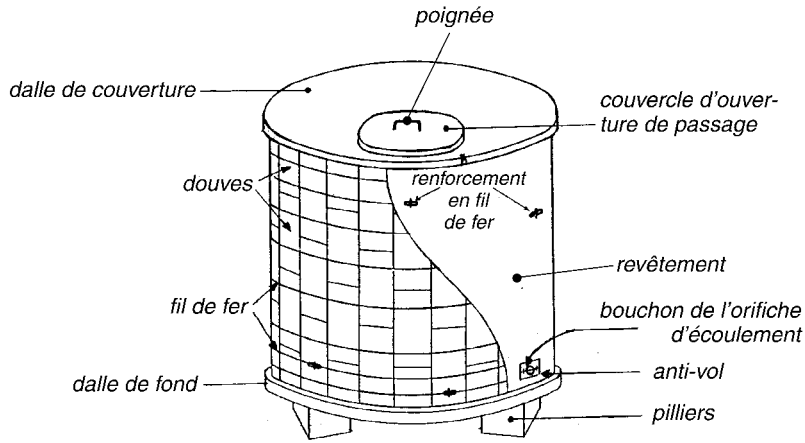


Figure 27 : silo en douves de ciment; Hauteur et diamètre interne du type de 4,5 tonnes : 2 mètres

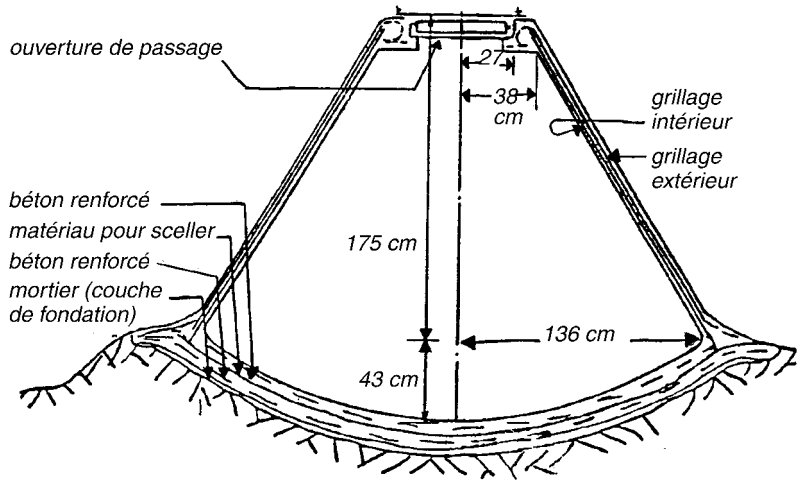


Figure 28 : silo thaï en ciment armé (coupe transversale)

Les trous du grillage sont remplis et enduits d'un mortier de la consistance d'une pâte : 1 mesure de ciment standard, 1,75 mesure de sable avec addition facultative d'un matériau de revêtement pour qu'il se

travaille mieux. Les proportions eau/ciment sont environ de 0.3 en poids. Le ciment armé doit être séché de façon adéquate.

Convient pour : céréales et légumineuses.
Durée de stockage : 9 à 12 mois.
Contenance : 4 à 6 tonnes selon la taille.
Matériaux : pour 3,5 tonnes de paddy ou 4,5 tonnes de maïs :

ciment	**1000 kg**
sable	1725 kg
agrégat	965 kg (pour la base)
mortier de revêtement	2 kg
matériau pour sceller la base	5 kg (bitume)
peinture	0,75 kg
grillage à poules	2 rouleaux
barres no 2	80 metres
tuyau à eau	32 mètres (diam. 19 mm)

Les bâtons de bambou utilisés à la place de tuyaux à eau exigent des murs beaucoup plus épais et donc plus de ciment.

Silos multicoffres en béton
Beaucoup de paysans forment des coopératives et stockent leurs produits collectivement dans de grands coffres. Le silo multicoffre offre une alternative pour les silos ronds, plus grands. Chaque coffre a un diamètre interne de 2 m × 2 m × 2 m et a ses propres ouvertures de remplissage et d'écoulement (voir figure 29).

Méthode 11 : Puits souterrains

Le stockage en puits est traditionnel dans beaucoup de régions (sub)tropicales. Lorsque la profondeur de sol malléable est suffisante, les puits sont généralement bon marché et faciles à construire. Ils sont surtout utilisés dans les régions arides où le bois et l'herbe nécessaires au stockage normal sont rares. Les puits traditionnels sont dans une certaine mesure protégés contre les insectes (niveau d'oxygène réduit) et les rongeurs, mais pas contre les termites. Il se produit souvent des moisissures, surtout au voisinage des parois du puits et à la surface du produit. La réussite d'un stockage en puits dépend donc de la restric-

tion de l'apport d'air et d'humidité provenant du sol environnant et de l'atmosphère. Ajoutons que les puits sont une bonne cachette contre les voleurs.

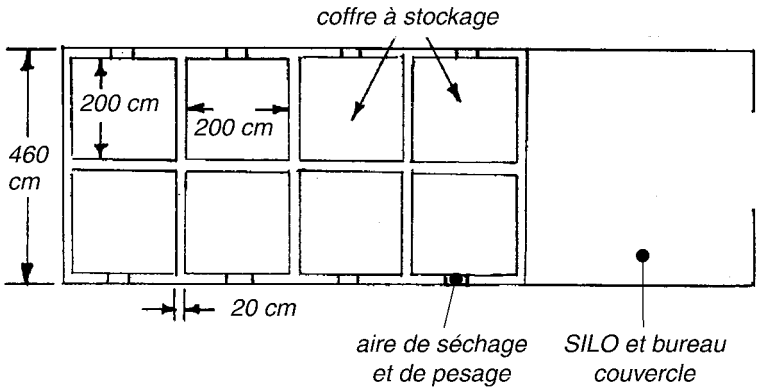


Figure 29 : silos carrés en blocs de béton pour stockage de coopérative

Le revêtement traditionnel des puits se fait avec des matériaux végétaux, par exemple de l'herbe, de la paille, de la menue paille, des tiges de maïs ou de sorgho et/ou de l'argile, de la bouse de vache ou de la terre de termitière auquel on met le feu pour en durcir la surface. Les matériaux végétaux ne font probablement guère plus que d'empêcher le contact direct du grain avec le sol, à moins qu'appliqués en épaisseur considérable. L'utilisation d'argile, de bouse, etc. réduit également la pénétration d'eau, mais ne peut l'éviter totalement. Les puits sont fermés et scellés avec des matériaux végétaux et de la terre ou avec des pierres, des branchages ou de l'écorce, généralement enduits de bouse de vache fraîche. Les puits sont soit cylindriques, soit rectangulaires, soit à col étroit et, pour éviter la pénétration de l'eau, ils sont creusés dans des terrains surélevés, sous les habitations ou sous des couches d'argile ou de bouse.

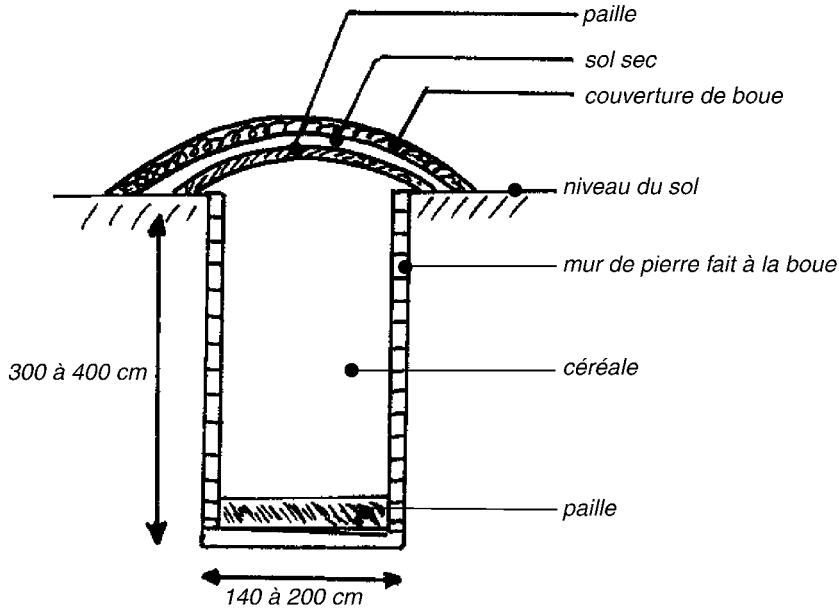


Figure 30 : puits de souterrain traditionel

Amélioration des puits

La toiture du puits peut être faite avec des feuilles métalliques scellées avec de la boue/bouse ou du bitume, ou avec des feuilles de polythène. Un couvercle temporaire le protège de la pluie. Il doit être enlevé à la saison sèche pour permettre le séchage par évaporation, car le couvercle n'empêche pas les mouvements latéraux de l'eau dans le puits.

Amélioration des revêtements de puits.

- Les parois du puits sont enduites d'un mélange de boue, de bouse et de paille. Le grain y reste beaucoup plus sec que dans les puits non améliorés.
- Revêtement avec de la paille et des nattes : le sol et les murs sont revêtus d'une couche de paille recouverte de nattes en bambou ou en herbes. Ce revêtement ne protège pas aussi bien que les méthodes qui suivent, mais n'en reste pas moins une bonne méthode pour

réduire les dégâts de moisissure, au moins pour un stockage à court terme.

- Le produit est mis dans des sacs en plastique bien fermés, placés dans le puits. Avantage : une partie du produit peut être retirée sans laisser entrer d'air ni d'humidité dans le reste du stock.
- Revêtement en plastique : le puits est revêtu d'une feuille de plastique ou de sacs en plastique découpés et collés ensemble. Inconvénients : le revêtement de plastique s'abîme facilement.
- Revêtement en ciment armé (figure 31). Un puits est rendu étanche à l'air et à l'eau grâce à un revêtement de ciment armé : deux couches de mortier (ciment : sable = 1:3, avec le moins d'eau possible pour faire la pâte) de 2,5 à 3 cm d'épaisseur, avec un renforcement de grillage à poules entre les couches. On empêche l'eau de passer en incorporant une couche de bitume entre les deux couches de mortier ou en appliquant une couche d'une émulsion ciment / bitume comme revêtement final. Un manuel de construction est disponible sur demande.

Remarques

- Avant de remplir un puits souterrain, l'intérieur doit en être sec. Le séchage peut être fait au soleil ou en faisant un feu à l'intérieur. (Attention aux risques de suffocation!).
- Laisser à l'intérieur du puits le moins d'espace possible pour l'air. Le puits doit donc être complètement rempli et de préférence avec un produit battu.
- Si l'on ouvre un puits, attendre une demi-heure avant d'y entrer : le manque d'oxygène peut faire suffoquer.
- Le ciment armé : le mortier doit être fait adéquatement : il ne doit pas sécher trop vite et doit rester humide et à l'abri du soleil et du vent pendant au moins 5 à 7 jours.

Convient pour : céréales et légumineuses.
Durée de stockage : selon l'étanchéité à l'air et à l'eau et selon les circonstances locales. Le puits revêtu de ciment armé peut conserver des grains battus pendant plusieurs années.
Contenance : selon la taille. De 0,5 a 7 tonnes.

Matériaux : selon le matériau de revêtement et la toiture.
Coût : bas, si l'on utilise un modèle simple.

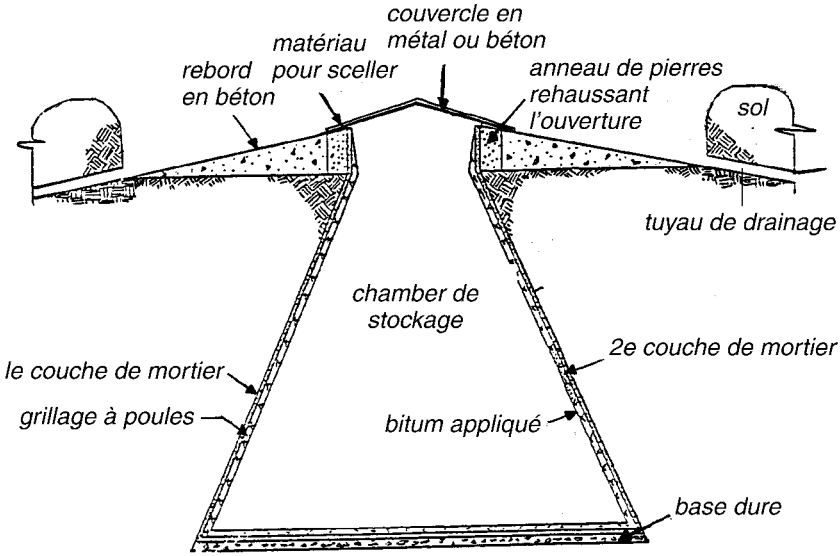


Figure 31 : puits souterrain amélioré, revêtu de ciment armé (coupe transversale)

Méthode 12 : Stockage en silo fosse

Les plantes sarclées, surtout le manioc et la patate douce, sont souvent séchées et stockées en tas dans les champs. Le modèle de base de ces silos de champ est le suivant : un lit de paille circulaire, ou en autres matériaux comme l'herbe séchée ou les feuilles de canne à sucre, d'environ 1,5 m de diamètre et 15 cm d'épaisseur après avoir été pressé, est placé sur un terrain bien drainé. Les tubercules récemment récoltés sont placés sur ce lit de paille en tas conique de 300 à 500 kg. Ce tas est ensuite recouvert d'une couche de paille et le tout est recouvert d'une couche de terre d'une épaisseur de 15 cm. On enlève un peu de terre autour du tas pour former une rigole de drainage (figure 32 et figure 33). Ce type de stockage en tas est satisfaisant pour les périodes froides et humides.

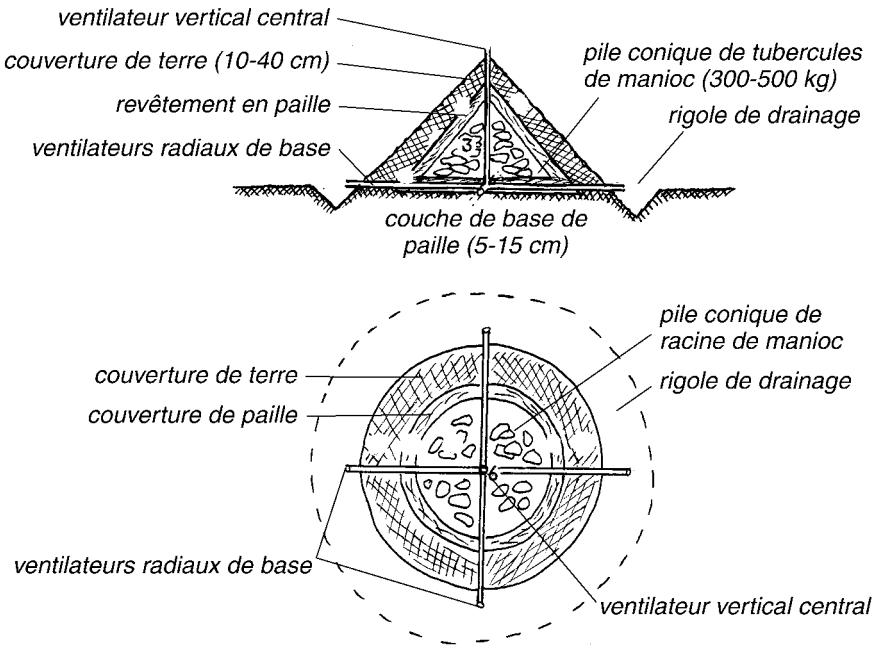
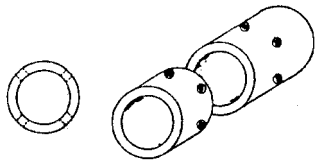

ventilateur vertical central
couverture de terre (10-40 cm)
revêtement en paille
ventilateurs radiaux de base
pile conique de tubercules de manioc (300-500 kg)
rigole de drainage
couche de base de paille (5-15 cm)
pile conique de racine de manioc
couverture de terre
couverture de paille
rigole de drainage
ventilateurs radiaux de base
ventilateur vertical central

Figure 32 : modèle de tas pour le stockage du manioc

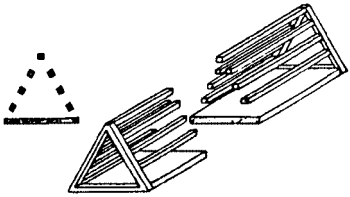
Le tas est couvert d'un toit de chaume ou mis sous un arbre afin d'éviter les dommages causés par la lumière directe du soleil et les pluies fortes. Dans des conditions climatiques chaudes et sèches, il faut s'assurer que la température à l'intérieur du tas ne dépasse pas les 40 °C, car les tubercules s'abîment rapidement à des températures plus élevées. Dans ce cas, apporter les modifications suivantes :

- Couvrir le tas avec une couche de terre plus épaisse qui réduira les températures internes.
- Appliquer des ventilateurs au centre et à la base pour obliger à l'air à passer à travers le tas. Ces ventilateurs sont construits avec les matériaux locaux disponibles, comme la paille, le bambou creux, les tuyaux de drainage ou les arbres. Si l'on installe des ventilateurs à la base, il faut prendre des précautions pour éviter l'entrée des souris et des rats (en utilisant, par exemple, du grillage).

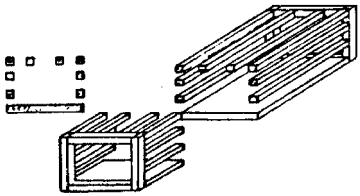
A: botte de paille



B: tube creux avec trous latéraux (tuyau de drainage bambou)



C: chassis triagulaire (bois, bambou)



D: chassis rectangulaire (bois, bambou)

Figure 33 : ventilateurs pour le stockage en tas du manioc

Dans des circonstances climatiques très humides, des précautions doivent être prises pour empêcher que les tubercules ne prennent l'humidité lors de la récolte, de la manipulation et du stockage en silo fosse, car les tubercules humides s'abîment facilement. Néanmoins, des pluies légères et fréquentes ont tendance à être favorables au stockage en tas, car l'humidité du sol fait baisser la température à l'intérieur des tas. On peut donc humidifier la couverture de terre pendant les périodes sèches et chaudes.
Si l'on doit stocker plus de 500 kg en une seule journée, il est conseillé de construire plusieurs tas circulaires, ou un seul allongé, car cela facilite le travail de construction et le contrôle de la température interne. En outre, cela réduit le risque de pourrissement du stock entier.

Avant de donner des recommandations particulières sur le stockage en tas, notons qu'il faut faire des essais très simples avec les matériaux locaux disponibles et pendant la saison de stockage requise pour pouvoir choisir le meilleur modèle et le meilleur emplacement des tas.

Pour le stockage en tas du manioc, le placement de couches intermédiaires de feuilles de manioc et/ou remplacement de la couverture de paille par des feuilles de manioc et plus tard par des palmes semble donner de meilleurs résultats.

Convient pour : plantes sarclées, spécialement manioc et patate douce.
Durée du stockage : 2 à 9 mois, selon les conditions locales et le type de plantes sarclées.
Contenance : jusqu'à 500 kg, par tas (de champ).
Coût : bas, mais beaucoup de travail.

Méthode 13 : Stockage en huttes (aérées)

Ce type de stockage a pour but d'offrir une protection contre les rongeurs, le soleil, la pluie et les eaux souterraines et d'éviter, au moyen d'une bonne aération, le développement de la moisissure et de la pourriture. Cette méthode n'offre guère de protection contre les insectes (à moins d'utiliser de grandes quantités d'insecticide), convient moins bien à un stockage à long terme des céréales et des légumineuses battues et non battues, mais convient très bien aux plantes sarclées (voir aussi section "Plantes sarclées" page 17).
Les matériaux locaux disponibles utilisés pour la construction sont : bambou, planches de bois, nattes tissées dans un cadre en bois etc. Pour la protection contre les rats et les termites, les huttes sont construites sur poteaux d'au moins 75 cm, munis de chasse-rat. Si l'on construit ces huttes sur la terre, tous les trous et fissures doivent être bouchés avec du grillage. Si les murs sont en planches, celles-ci doivent se recouvrir comme les tuiles d'un toit, avec un peu d'espace entre elles, de façon à ce que la lumière du soleil n'entre pas, mais que l'aération soit possible. Si le toit est en bois ou en chaume, il doit avoir des bords en surplomb pour la protection contre le soleil et la pluie. A l'intérieur de la hutte, les tubercules doivent être empilés dans des caisses, sur des étagères ou râteliers le long du mur de façon que l'air puisse passer librement entre eux. Un contrôle régulier du pourrissement est nécessaire.

Annexe I : Mesures de l'humidite relative et de la teneur en humidite

Cette annexe permet de mesurer la teneur en humidité d'un produit et l'humidité relative de l'air. Mais la mesure de la teneur en humidité n'en exige pas moins un équipement pour un pesage de précision. Plus la précision est recherchée, plus la méthode et l'équipement seront compliqués et plus les prix seront élevés. Quelques méthodes sont décrites briévement ci-dessous. Pour plus amples informations, s'adresser à Agromisa.

Mesure de la teneur en humidité

Comme on l'a vu dans le chapitre 2, la teneur en humidité d'un produit est généralement exprimée ainsi :

$$\text{Teneur en humidité} = \frac{\text{poids d'eau dans le produit humide}}{\text{poids du produit humide}} \times 100$$

$$\text{On peut dire aussi : } \frac{P_h}{P_s} \times 100\%$$

dans lequel :
P_h = poids du produit humide
P_s = poids du produit séché (au four)

Les méthodes de mesure de la teneur en humidité peuvent être divisées en méthodes directes et en méthodes indirectes. Les méthodes directes mesurent directement la quantité d'eau, alors que les méthodes indirectes mesurent les autres caractéristiques du produit par rapport à sa teneur en humidité (par exemple, sa conductance électrique). Les méthodes indirectes sont plus rapides, mais exigent un équipement plus coûteux. Les méthodes directes sont moins chères, mais nécessite tout de même un équipement de pesage.

Trois méthodes très simples (directes) :

1 Méthode du four

Matériel : équipement de pesage, un four (aéré) avec contrôle de température, un thermomètre, des plateaux à peser en métal allant au four. Un échantillon de produit moulu (au moulin à café, par exemple) est pesé (P_m), mis au four à 130 °C pendant 1 ou 2 heures, ou à 105 °C pendant 16 à 20 heures. La teneur en
humidité est calculée avec la formule ci-dessus. Le poids de l'échantillon (P_m) dépendra de la précision du matériel de pesée et de l'exactitude recherchée dans le calcul de la teneur en humidité. Cela va de 5 g pour un appareil très précis à 100 gr, ou plus, pour un appareil non précis. Refaire plusieurs fois l'opération. Lors de la réfrigération et du pesage, couvrir l'échantillon séché au four pour qu'il ne prenne pas l'humidité de l'air.

Si la température du four est trop élevée, des composants autres que l'eau s'évaporent et le calcul de la teneur en humidité est faussé. Il faut donc bien contrôler la température du four.

2 Méthode à lampe infrarouge

Matériel : une lampe infrarouge ou une ampoule très forte (250 Watt) avec installation, matériel de pesage, boîtes.

L'échantillon de terre est pesé et mis dans une boîte sous la lampe. La chaleur de la lampe fait évaporer l'eau qui se trouve dans le produit. Après 10-30 minutes selon le produit, l'échantillon est pesé à nouveau. La teneur en humidité est calculée selon la formule donnée.

Pendant la période chaude, secouer avec soin une fois ou deux l'échantillon pour qu'il ne s'encroûte pas. Les températures trop élevées risquent de le brûler (décoloration). A la place d'une seule lampe, on peut aussi en utiliser deux pour utilisation simultanée.

Lampe et boîte doivent toujours être placées de la même façon. Il est conseillé de vérifier le calcul de la teneur en humidité avec la méthode à four.

3 Méthode à immersion dans l'huile

Matériel : huile à cuire les légumes, thermomètres, conteneur (grand et/ou avec une ouverture étroite en haut) équipé d'un fil de fer pour tenir le thermomètre, un réchaud ou autre appareil de chauffage, du grillage, du matériel de pesage.

Prendre un échantillon de 100 grammes et le mettre dans le conteneur avec l'huile. Le grillage est placé au-dessus des graines pour les empêcher de sauter pendant la cuisson. Utiliser juste assez d'huile pour couvrir les graines. Le thermomètre est mis en place et le poids total de l'appareillage est mesuré. L'appareillage entier est alors chauffé sur un fourneau jusqu'à une température de 190 °C. Ensuite, on repèse l'appareillage entier. La différence de poids est égale à la quantité d'eau dans le produit humide (P_h-P_s, ou formule). Le poids du produit humide (Ph) est bien-sûr de 100 grammes.

Veiller à ce que pendant le chauffage l'huile ne saute pas hors du conteneur.

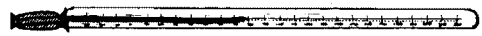
Mesures de l'humidité relative de l'air

Comme on l'a vu dans le chapitre 2, l'humidité relative à une certaine température est exprimée comme suit :

$$\text{Humidité relative} = \frac{\text{Quantité de vapeur d'eau dans l'ai}}{\text{Quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir à cette température}} \times 100$$

Les deux autres notions essentielles sont la température à cuvette sèche et la température à cuvette humide. La température à cuvette sèche (Ts) est la température de l'air mesurée avec un thermomètre ordinaire. La température à cuvette humide (Th) est la température de l'air mesurée avec un thermomètre ordinaire dont la cuvette en verre est recouverte d'un tissu ou gaze humide (la cuvette est emballée dans un petit sac en tissu et plongée dans l'eau). La température est relevée après que le thermomètre ait été rapidement agité (secoué ou tourné) dans l'air.

thermomètre à cuvette sèche



thermomètre à cuvette humide

Figure 34 : thermomètres

Un psychromètre à balancier comprend deux thermomètres montés sur une assiette de base. La cuvette humide est placée plus bas que la cuvette sèche.

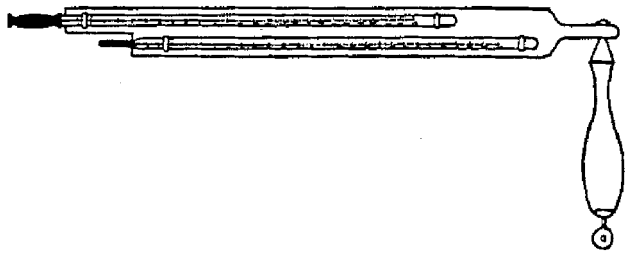


Figure 35 : psychomètre à balancier

Le thermomètre à cuvette humide indique une température plus basse car l'humidité qui s'évapore lors du balancement refroidit la surface de la cuvette. La différence de température entre les deux lectures de thermomètre ($T_s - T_h = T$) est la mesure de l'humidité relative de l'air à la température T_s. Dans le tableau suivant, on peut lire les humidités relatives en connaissant T et T_s. Par exemple, si la température à cuvette sèche est de 25 °C (T_s) et la température à cuvette humide de 22 °C, T sera de 3 °C, et l'humidité relative de l'air de 77%. Des valeurs intermédiaires peuvent être calculées.
Il faut bien-sûr que les deux thermomètres indiquent la même température quand ils sont utilisés comme thermomètres ordinaires. Les thermomètres doivent être de préférence lus à bout de bras. Si l'on ne possède qu'un seul thermomètre et s'il est calibré, l'utiliser alternativement en cuvette sèche et en cuvette humide.

Tableau 5 : l'humidité relative avec ΔT et Td cunnu

T_d (°C)	ΔT (°C)										
	0	**1.0**	**2.0**	**3.0**	**4.0**	**5.0**	**6.0**	**7.0**	**8.0**	**9.0**	**10.0**
5	100	86	72	58	45	33	20	7	-	-	-
10	100	88	77	66	55	44	34	24	15	6	-
15	100	90	80	71	61	53	44	36	27	20	13
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	31	24
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	39	33
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39
35	100	94	87	81	75	69	64	59	54	49	44
40	100	94	88	82	77	72	67	62	57	53	48

Le tableau 1 est un tableau simplifié, valide pour une vitesse de l'air > ou = 2,5 mètres par seconde, pour une pression de l'air d'environ 1 atmosphère (±1000 millibars) et mais pas pour les radiations directes du soleil sur la cuvette humide ou sur les thermomètres.

Conversion des degrés Celsius en degrés Fahrenheit, et vice versa.

$$°F = \frac{9}{5} \times (°C + 32)$$

$$°C = \frac{5}{9} \times (°F - 32)$$

Il existe aussi des appareils pour mesurer l'humidité relative entre les grains stockés en gros (hygromètres à cheveu), mais ils sont onéreux.

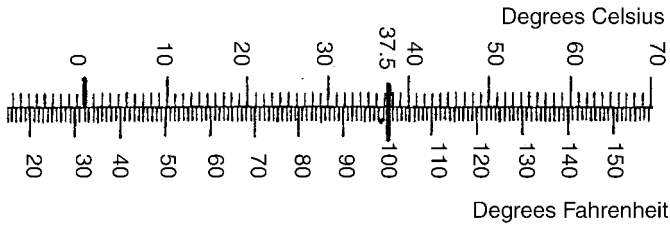


Figure 36 : Conversion des degrés Celsius en degrés Fahrenheit

Bibliographie

ANONYMOUS, 1975. **West African Seminar on the volunteer role in farm and village-level grain storage**. German Agency for Technical Cooperation (GTZ). Press and Public Relations Office. P. O. Box 5180, Eschborn 1, West Germany.

BOOTH, R.H., 1975. **Cassava Storage. Post-harvest deterioration and storage of fresh cassava roots.** 18 pages. CIAT, series EE 16, Cali, Colombia

CEEMAT, 1974. **Manuel de conservation des produits agricoles tropicaux.** Publisher : Maisonneuve et Larose,11 rue Victor Cousin, 75005 Paris, France.

DICHTER, D., 1978. **Manual on improved farm and village-level grain storage methods**. GTZ, Germany.

FAO, 1970. **Food Storage Manual, Vols. I, II, III**; 799 pages. FAO, Rome, Italy

FAO, 1973. **Airtight grain storage**. FAO Agr. Serv. Bulletin No. 17, Rome, Italy

FAO, 1979. **On-farm maize drying and storage in the humid tropics.** African Rural Storage Centre, 60 pages. FAO Agr. Serv. Bulletin No. 40, Rome, Italy

GOLOB, P.A.V.& WEBLEY, D.J. **The use of plants and minerals as traditional protectants of stored products.** 1980. Tropical Products Institute Series G, No. 38, 1980 Tropical Products Institute, 56/62 Gray's Inn Road, London WC1X 8LU, UK

HALL, D.W., 1970. **Handling and storage of food grains in tropical and subtropical areas.** 350 pages. FAO, Rome, Italy

LINDBLAD, C. & DRUBEN, L. 1977. **Small farm grain storage.**

Vol. 1 : Preparing grain for storage. Vol. 2 : Enemies of stored grain. Vol. 3 : Storage methods. 580 pages total. Peace Corps/VITA. VITA, 3706 Rhode Island Avenue, Mt. Rainier, MD 20822, USA

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, 1976. **Ferrocement : applications in developing countries.** Board on Science and Technology for International. Development, Commission on International Relations, 2101 Constitution Avenue, Washington DC 20418, USA.

PANS, 1978 **Pest control in tropical root crops.** PANS Manual No. 4. Centre for Overseas Pest Research, PANS Office, College House, Wrights Lane, London W8 5SJ, UK.

Adresses utiles

African Rural Storage Centre Project
Institut International d'Agriculture Tropicale (IIAT)
PMB 5320, Ibadan. Nigéria

Brace Research Institute of the McGill University
Agricultural Engineering Building
Macdonald campus of McGill University
Ste Anne de Bellevue, Québec. Canada

CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical
Apartado Aereo 6713, Recta Cali-Palmira, km 17, Cali, Colombia
http://www.ciat.cgiar.org/index.html, CIAT@cgiar.org

CIMMYT, Centro International de Mejoramento de Maiz Y Trigo
Apdo. Postal 6-641, ., 6600, Mexico, D.F., Mexico
http://www.cimmyt.org/, Cimmyt@cgiar.org

GATE-GTZ, German appropriate Technology Exchange
Post Box 5180, 65726, Eschborn, Germany
http://www5.gtz.de/gate/gateid.afp, gate-id@gtz.de

ICRISAT, International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics (Head Quarters)
Patancheru, India
ICRISAT's mission is to help the poor of the semi-arid tropics through 'Science with a Human Face' and partnership-based research and to increase agricultural productivity and food security, reduce poverty, and protect the environment in SAT production systems.
http://www.icrisat.org, icrisat@cgiar.org

IITA, International Institute for Tropical Agriculture, Headquarters
P.M.B. 5320, , Ibadan, Nigeria
IITA conducts research, training, and information exchange activities. The research agenda addresses crop improvement, plant health, and resource and crop management within a food systems framework. Re-

search focuses on smallholder cropping and post-harvest systems and on several food crops.
http://www.iita.org, IITA@cgiar.org

INPhO, Information Network on Postharvest Operations
see GATE-GTZ
To assist in preventing the loss of millions of tonnes of cereals, roots, tubers, fruits and vegetables in developing countries caused by inadequate handling and storage, pest damage, and transport and marketing problems the Information Network on Post-Harvest Operations (INPhO) was set up in 2001. INPhO is led by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) in partnership with GTZ and CIRAD. Furthermore the project is supported by many international and national institutions dealing with post-harvest operations.
http://www.fao.org/inpho/, inpho@fao.org

Institut de Recherche Agricole Tropicale (IRAT)
Niaouli. Bénin

Institut de recherche agricole
Samaru. Nigéria

IRRI, International Rice Research Institute
DAPO Box 7777, Los Banos, Laguna, Metro Manila, Philippines
http://www.irri.org, irri@cgiar.org

ITDG, Intermediate Technology Development Group
Bourton Hall, Bourton on Dunsmore, CV23 9QZ, Rugby, Warwickshire, United Kingdom
http://www.itdg.org/, infoserv@itdg.org.uk

KIT : Institut royal des tropiques
Département de recherche agricole
Mauritskade 63 ; Amsterdam. Pays-Bas
Ministère de l'Agriculture Ethiopie
Chilalo agricultural development unit
Storage and processing of agr. products unit
B.P. 3376, Addis Abeba. Ethiopie

PTC+ est un institut de formation international qui se concentre sur tous les maillons de la chaîne de production au sujet des produits de base végétaux et animaux, les technologies agricoles et alimentaires et les espaces verts.
Les programmes de formation sont axés sur la pratique et font alterner des classes théoriques et des classes pratiques.
PTC+ offre des programmes « à l'accès libre », des programmes « sur mesures » et des services de consultance. Des programmes sont offerts aux Pays-Bas et/ou sur les lieux.
La politique PTC+ consiste à chercher des partenariats et des programmes de coopération avec des institutions nationales et internationales à l'étranger.
Pour de plus amples renseignements, vous pouvez visiter notre site Internet www.ptcplus.com et/ou écrire à :
PTC+ Siège
B.P. 160, 6710 BD Ede, Les Pays-Bas
Tél.: +31 318 645700
Fax: +31 318 595869
e-mail: info@ptcplus.com

Tropical stored products centre
London Road
Slough SL 3 ; 7 HL, Berks. Angleterre

Université Ahmadu Bello
PMB 1044 Zaria. Nigéria

WARDA, West african Rice Development Assoaciation,
temporary HQ
01 BP 4029, Abidjan, Côte d'Ivoire
http://www.warda.cgiar.org, WARDA@cgiar.org